



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

도서지역의 고도를 고려한
확률강우량 산정

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

土木工學 專攻

梁世彰

2014 年 2 月

도서지역의 고도를 고려한
확률강우량 산정

指導教授 楊 城 基

梁 世 彰

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2014 年 2 月

梁世彰의 工學碩士學位 論文을 認准함.

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 産業大學院

2014 年 2 月

Estimation of Probability Precipitation
considering altitude in the Islands.

Se-Chang Yang

(Supervised by Professor Sung-Kee Yang)

A thesis submitted in partial fulfillment of the
requirements for the degree of Master of Engineering

2014. 2.

This thesis has been examined and approved.

Department of construction & Environmental Engineering
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차	i
표 목 차	iii
그 립 목 차	iv
Summary	v
I. 서론	1
1. 연구의 배경	1
2. 연구의 목적	2
3. 연구의 동향	3
II. 연구방법 및 이론적 배경	5
1. 연구방법	5
2. 이론적 배경	7
2.1 FARD 모델	7
2.2 확률분포형	8
2.3 확률분포형의 매개변수 추정	12
2.4 적합도 검정	15
III. 연구대상지역 및 강우자료 분석	19
1. 연구대상 지역	19
1.1 지형 및 경사	19
1.2 기후 특성	21
2. 지점별 강우량 자료 구축	22
2.1 강우량 관측지점 현황	22
2.2 강우관측소 선정 및 지속시간별 연최대강우량(임의시간) 자료 구축	23

IV. 결과 및 고찰	37
1. AWS 관측지점별(빈도별, 지속시간별) 확률강우량 산정.....	37
1.1 확률분포형 적용 및 매개변수 적합성 검토.....	37
1.2 적합도 검정.....	42
1.3 관측지점별 확률강우량 산정.....	44
2. 제주도 확률강우량도 구축.....	60
3. 기존 확률강우량과 비교·분석.....	63
3.1 기존 하천정비기본계획 확률강우량_한천유역.....	63
3.2 확률강우량 비교·분석_한천유역.....	64
V. 결론	67
참고문헌	69
부 록	71
감사의 글	83

표 목 차

Table II-1. Range of random variable in probability distribution pattern and parameter conformity condition.....	15
Table III-1. Climatological normal in Jeju Island (Korea Meteorological Administration, 2011).....	21
Table III-2. Jeju Special Self-Governing Province Meteorological Agency's AWS observing points.....	23
Table III-3. Fixed time-arbitrary time conversion factor.....	24
Table III-4. Duration time-specific annual maximum rainfall(arbitrary time) database.....	25
Table IV-1. Parameter conformity review.....	38
Table IV-2. Distribution-specific frequency of rejection after parameter conformity review.....	43
Table IV-3. Hydraulic structure design frequency(river design standard and commentation, 2009).....	44
Table IV-4. Observing point-specific probable precipitation calculation.....	45
Table IV-5. Return period-specific elevation-probable rainfall 1st linear regression equation(Northern_duration time 60min).....	54
Table IV-6. Return period-specific elevation-probable rainfall 1st linear regression equation(Northern_duration time 1440min).....	55
Table IV-7. Return period-specific elevation-probable rainfall 1st linear regression equation(Southern_duration time 60min).....	57
Table IV-8. Return period-specific elevation-probable rainfall 1st linear regression equation(Southern_duration time 1440min).....	59
Table IV-9. 2001 Hancheon Plan probable rainfall.....	63
Table IV-10. Probable rainfall comparison · analysis_Hancheon.....	64

그림 목 차

Fig. II-1. Flow chart on the study.....	6
Fig. III-1. Shade fluctuation in Jeju(Jeju Special Self-Governing Province, 2013).....	19
Fig. III-2. Topography elevation distribution status in Jeju(Jeju Special Self-Governing Province, 2013).....	20
Fig. III-3. Terrain gradient distribution status in Jeju(Jeju Special Self-Governing Province, 2013).....	21
Fig. III-4. Meteorological network map in Jeju Meteorological Agency(Jeju Regional Meteorological Administration).....	22
Fig. IV-1. Return period-specific elevation-probable rainfall (Northern_duration time 60 min.).....	53
Fig. IV-2. Return period-specific elevation-probable rainfall (Northern_duration time 1440 min.).....	54
Fig. IV-3. Duration time-specific elevation-probable rainfall (Northern_recurrence interval 100 years).....	56
Fig. IV-4. Return period-specific elevation-probable rainfall (Southern_duration time 60 min.).....	57
Fig. IV-5. Return period-specific elevation-probable rainfall (Southern_duration time 1440 min.).....	58
Fig. IV-6. Duration time-specific elevation-probable rainfall (Southern_recurrence interval 100 years)	59
Fig. IV-7. Jeju probable rainfall map(duration time 60 min., 1440 min.).....	62
Fig. IV-8. Duration time-specific probable rainfall comparison_Hancheon.....	65

Summary

Jeju Island, a volcanic island, is the region that shows the biggest rainfall and has a big elevation-specific deviation of rainfall, but Jeju Island River Maintenance Plan does not reflect the characteristics of Jeju Island as it only calculates probable rainfall from four weather stations with elevation lower than 100m. Therefore, this study uses Automatic Weather Station observational data in four Jeju Island weather stations and other regions to calculate location-specific probable rainfall, review the elevation-probable rainfall correlation in southern and northern regions, and create a probable rainfall map for all regions of Jeju Island, in order to produce better outcomes. This study is expected to be the most basic data to establish a safe Jeju island from flood disaster in preparation for the future climate changes and widely used for Jeju Island Basin Dimension Planning, River Maintenance Plan, Pre-Disaster Impact Review, etc.

I. 서론

1. 연구의 배경

최근 전 지구적인 이상기후의 영향으로 과거의 강우기록을 갱신하는 초대형 태풍과 돌발적인 집중호우로 인한 재산 및 인명 피해가 증가하고 있으며, 이러한 재해를 예방하기 위하여 많은 예산과 인력이 투입되고 있는 실정이다(Yang과 Yang, 2013). 우리나라도 지난 2012년에는 제 7호 태풍 “카눈”을 시작으로 제 16호 태풍 “산바” 까지 50년 만에 총 4개의 태풍이 상륙하였으며, 기상 관측사상 최초로 3개 태풍(14호~16호)이 연달아 상륙하여 많은 재산 및 인명피해를 입었다(기후변화정보센터, 2012).

사면이 바다로 둘러싸인 제주도는 우리나라로 상륙하는 태풍의 길목에 위치하여 집중호우로 인한 피해에 매우 많은 영향을 받는 지역이다(Ko 등, 2013). 제주도는 기후변화로 인한 집중호우 및 태풍의 발생 빈도가 지속적으로 증가하고 있는 추세이며 지난 2007년에는 일 최고 563.5mm의 강우가 발생한 제 11호 태풍 “나리”로 인해 14명의 인명 피해와 약 1600억여 원의 재산 피해가 발생하였다(제주도, 2007). 태풍 “나리” 뿐만 아니라 2011년 태풍 “무이파”, 2012년 태풍 “볼라벤”, “덴빈”, “산바” 등으로 많은 홍수유출이 발생하여 재산 및 인명 피해가 있었다(국가태풍센터, 2013).

이와 같은 홍수 피해를 저감하기 위해서는 유역종합치수계획 및 하천정비기본계획 등에서 도서지역인 제주도의 특성을 반영한 확률강우량을 산정하여 설계 홍수량을 결정하여야 한다. 제주도는 연강우량의 약 60%가 홍수기인 여름철(6월~9월)에 집중되는 특성을 보이며, 고도에 따른 강우량 편차가 매우 큰 지역이다. EL.100m 이하에 설치되어 있는 4개 기상관서의 30년간 연평균 강우량은 제주 1,497.6mm, 서귀포 1,923.0mm, 성산 1,966.8mm, 고산 1,142.8mm 이지만, EL.1000m 이상에 설치되어 있는 지점의 관측기간 동안 연평균 강우량은 천백고

지 2,619mm, 성판악 3,874mm, 한라산 4,141mm 으로 4개 기상관서의 2~4배의 강우량을 보이고 있다(제주도, 2013).

4개 기상관서를 제외하면 30년 이상의 관측 자료가 존재하지 않기 때문에 유역종합치수계획 및 하천정비기본계획에서는 4개 기상관서를 대상으로 확률강우량을 산정하여 설계홍수량을 산정하고 있는 실정이다. 향후 기후변화에 의한 강우량 및 강우강도의 증가로 인해 집중호우가 지속적으로 증가할 것으로 예측되고 있어 제주도 고도에 따른 강우량의 편차를 고려한 확률강우량을 산정하는 연구가 필요하다.

2. 연구의 목적

국내에서는 제방, 하천횡단구조물 등 하천시설물과 도로의 암거 및 측구, 하수도 등 소형구조물 설계 시 한국확률강우량도(건설교통부, 2000) 및 확률강우량도 개선 및 보완 연구(국토해양부, 2011)를 활용하고 있다. 그러나 한국확률강우량도에서는 제주도 4개 기상관서만을 대상으로 확률강우량도가 제시되고 있어 제주도의 특성이 반영되지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 제주도내 4개 기상관서의 관측 자료와 2000년 이후 설치된 제주도 전지역의 AWS(Automatic Weather Station, 자동기상관측소) 관측 자료를 이용하여 각 지점의 지속시간 및 재현기간별 확률강우량을 산정, 제주도 남·북부지역의 고도-확률강우량 관계 도출, 지속시간 및 재현기간별 확률강우량도 작성 및 적용하여 제주도의 고도를 고려한 확률강우량을 산정하고자 한다.

이러한 연구결과는 향후 기후변화에 대응하여 홍수재해로부터 안전한 제주도를 구축하는데 가장 기초적인 연구가 될 것으로 판단되며, 향후 제주도의 유역종합치수계획, 하천정비계획, 사전재해영향성검토, 수공구조물 설계 등에서 광범위하게 활용될 수 있을 것이다.

3. 연구의 동향

Duckstein et al. (1973)이 애리조나 남부의 Santa Catalinas의 작은 산지지역의 3~7년간 여름철 강우 자료를 분석하여 표고차 1,000m 마다 10.2번의 강우가 더 발생하고 표고가 높아질수록 0.00097mm/m 의 연강우량이 증가한다고 제시하였다. Karneili 와 Osborn (1988)은 애리조나 지역의 30년 이상의 강우자료를 가지고 있는 158개소 강우관측소를 이용하여 강수-표고 관계를 분석하여 애리조나 지역을 세 구역으로 나누었을 때 여름-겨울철 강우량은 표고와 선형관계가 있다고 나타났고, 여름철 강우량과 표고의 관계를 회귀식으로 분석한 결과 세 구역에서 결정계수 0.97, 0.86 및 0.82의 높은 적합도를 도출하였다. Hanson과 Johnson (1993)은 Idaho 지역의 표고, 연강우량 및 계절 강우량은 선형관계를 가지고, 표고가 다른 2개 지점의 강우지속시간별 확률강우량을 비교하여 강우지속시간이 증가함에 따라 낮은 곳 보다 높은 곳의 강우량이 더욱 크게 증가함을 제시하였다.

국내에서는 지형 형태, 바람 등이 국외의 경우와는 상이하기 때문에 강우 패턴의 차이를 보이므로 국내 산악지역에 적합한 다양한 연구가 필요할 것으로 판단되나 현재까지는 관련 연구가 미비한 실정이다. 건설교통부 (2000)에서는 전국 강우량 관측 자료를 사용한 한국 확률강우량도를 작성하였다. 국토해양부 (2011)에서는 최근 증가하고 있는 집중호우 및 강우강도를 감안하여 기존의 한국 확률강우량도를 개선 및 보완하였으나, 제주도의 경우 EL.100m 이하에 설치되어 있는 기상관서의 관측 자료만 사용하여 고도에 따른 강우량의 변동을 고려하지 않았다.

유철상 등(2004)은 고도에 따른 강우의 변화를 선형 및 비선형 회귀분석을 수행하여 한강유역의 산지효과존재 여부를 확인하였다. 엄명진 등(2007)은 제주도 지역의 시우량 자료와 표고별 분포를 이용하여 강우지속시간과 표고와의 관계를 다중회귀분석으로 분석하였으며, 지속시간이 고도보다 강우량과의 상관성이 더 크다는 것을 밝힌 바 있다. 윤혜선 등(2009)은 다중회귀분석을 이용하여 산악효과를 야기하는 지형인자와 강수와의 관계를 파악하였다.

한국지질자원연구원 (2011)에서는 1992년부터 2009년까지 관측소별 연평균 강우량과 관측소 표고와의 관계를 분석하였다. 표고별 연강수량은 표고 100m당 북부유역이 약 153mm, 서부유역이 약 144mm, 남부유역이 약 69mm, 동부유역이 약 235mm의 증가추세를 나타내어, 동부유역에서 표고별 강수량 증가율이 가장 높았으며, 남부유역이 가장 낮았으며, 표고별 연강수량 선형추세 상관성은 유역별로 상이하게 나타났는데 북부유역이 $R^2=0.9197$ 로 가장 높고 남부유역은 $R^2=0.289$ 로 다소 낮다는 결과를 보였다. 그러나 관측지점별 연강수량 자료를 이용하여 강수량과 표고와의 관계를 분석하는 방법은 강우의 공간적인 분포를 확인할 수 없으며, 실제 제주도 남부지역에서는 매우 낮은 상관성을 도출하였다. 따라서 제주도의 특성을 반영하여 확률강우량을 산정하기 위해서는 관측지점의 지속기간 및 재현기간별 확률강우량을 산정하고 확률강우량도를 작성하여야 한다.

II. 연구방법 및 이론적 배경

1. 연구방법

고도를 고려한 제주도의 확률강우량을 산정하기 위하여 기상청에서 관측하고 있는 4개 기상관서와 AWS 관측지점의 지속시간별 연최대강우량 관측 자료를 구축하였다. AWS 관측지점 중에서 10년 이하의 관측 자료가 구축되어 있는 지점은 제외하였으며, 강우의 공간적인 분포 및 고도 분포를 고려하려 고정시간 강우자료를 구축하였다. 국토교통부에서 제시하는 고정시간-임의시간 환산계수 회귀곡선을 사용하여 고정시간 자료를 임의 지속시간 자료로 환산하였다.

강우자료의 예비적인 해석을 지점별로 수행하고 수문자료 빈도해석에 사용되는 Gamma, GEV, Gumbel, Log-Gumbel, Lognomal, Log Perarson type III, Weibull, Wakeby, Normal, Generalized logistic, Generalized Pareto 등 확률분포형을 적용하였다. 각 분포형의 매개변수 추정은 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법을 사용하였으며, χ^2 -검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von mises 검정, PPCC(Probability Polt Correlation Coefficient) 검정을 수행하여 적합도를 검정하였다. 최적 분포형으로 Gumbel 분포형을 산정하여 각 지점별 빈도별 지속시간별 확률강우량을 산정하고, Suffer 프로그램의 크리깅 기법을 이용하여 빈도별 지속시간별 제주도의 확률강우량도를 작성하였다. 작성된 확률강우량도를 이용하여 제주도 한천구역의 빈도별 지속시간별 확률강우량을 산정하였으며, 기존 하천정비 기본계획(한천)의 확률강우량값과 비교·분석하였다(Fig II-1).



Fig. II-1. Flow chart on the study

2. 이론적 배경

2.1 FARD 모델

강우현상은 기상, 지형적인 자연요소에 의해 시시각각 변화하기 때문에 이를 정확하게 예측하거나 파악하기가 어려우며 수문학적으로 이용되는 강우의 해석은 과거 해당지점의 관측 자료를 근거로 하는 통계학적인 기법이 대부분을 차지하고 있다. 수공구조물을 계획하기 위해서는 타당한 규모의 강우를 선정하여 홍수유출량을 결정하고, 홍수유출량을 대상으로 하도, 홍수조절지 등의 계획을 수립한다. 대상유역에 대한 계획 홍수규모를 결정하기 위해서는 유역내 혹은 유역 인근에 위치한 강우량 관측소의 강우기록을 획득하여 통계분석 처리한 후 확률강우량을 산정하고, 채택된 확률강우량에 대한 재현기간별 홍수유출량을 산정하는 것이 일반적인 방법이다.

설정된 재현기간에 해당하는 강우사상을 산정하기 위해서는 해당지역의 강우사상을 대표할 수 있는 지점의 연최대치 강우기록으로부터 지속기간별 매년 최대치 자료를 추출하는 작업이 선행되어야 한다. 추출된 자료로부터 재현기간별 확률강우량을 산정하는 작업을 점빈도해석(Point Frequency Analysis)이라 하며, 이를 위해서는 강우지속기간에 따른 확률분포형을 선정하는 작업이 선행되어야 한다.

FARD(Frequency Analysis of Rainfall Data Program)은 행정자치부 국립방재연구소와 연세대학교에서 만든 강우자료의 빈도해석을 위한 강우분석 프로그램이다. 각종 강우 빈도분석기법들을 체계적으로 정리하고 관련기법을 컴퓨터 프로그램화하여 실무에 손쉽게 활용할 수 있도록 개발되었다. 1998년 초기 모델인 FARD98이 개발된 이후에 FARD2002를 거쳐 확률분포형 추가 및 사용자편의 환경을 개선한 FARD2006이 주로 사용되고 있으며 방재연구소 홈페이지를 접속하면 무료로 다운로드 받을 수 있다.

유역종합치수계획, 하천정비기본계획, 사전재해영향성검토 등에서 강우빈도해석을 수행할 경우 FARD 프로그램을 사용하고 있으며, 본 연구에서도 확률강우량을 산정하기 위하여 사용하였다.

2.2 확률분포형

수문자료의 빈도해석 및 확률강우량을 산정에는 다음과 같은 확률 분포형이 많이 사용된다.

1) Gamma 분포형

대부분의 수문자료의 확률밀도함수는 왜곡되어 있으므로 수문자료의 해석에는 Gamma 분포를 자주사용하며 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{|\alpha|\Gamma(\beta)} \left[\frac{x-x_0}{\alpha} \right]^{\beta-1} \exp\left[-\frac{x-x_0}{\alpha} \right]$$

x_0 : location parameter $x_0 \leq x < \infty$ for $\alpha > 0$

α : scale parameter $-\infty < x \leq x_0$ for $\alpha < 0$

β shape parameter

2) GEV(General Extreme Value) 분포형

홍수나 가뭄 같은 사상의 빈도해석에 많이 사용되는 분포함수로써 형상매개변수에 따라서 3가지 형태로 구분될 수 있으며 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$F(x) = \exp\left\{ -\left[1 - \beta \frac{(x-x_0)}{\alpha} \right]^{1/\beta} \right\}$$

x_0 : location parameter

α : scale parameter

β shape parameter

3) Gumbel 분포형

GEV-1 분포로 잘 알려져 있으며 우리나라 강우자료에 대한 대표적인 확률분포형으로서 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$F(x) = \exp \left\{ \exp \left[- \frac{(x-x_0)}{a} \right] \right\}$$

x_0 : location parameter

a : scale parameter

4) Log-Gumbel 분포형

Log-Gumbel 분포는 Frechet 분포로도 잘 알려져 있으며 GEV-2 분포에 해당된다. 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$F(x) = \exp \left[- \left(\frac{\Theta - x_0}{x - x_0} \right)^\beta \right]$$

x_0, Θ, β parameters

5) Lognormal 분포형

3개의 매개변수를 가지는 lognormal 분포형은 아래와 같으며, $x_0=0$ 으로 놓으면 2변수 lognormal 분포형이 된다. 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} (x-x_0)\sigma_y} \exp \left[- \frac{1}{2} \left[\frac{\ln(x-x_0) - \mu_y}{\sigma_y} \right]^2 \right]$$

x_0 : location parameter of x

μ_y : location parameter of $\ln(x-x_0)$

σ_y : scale parameter of $\ln(x-x_0)$

6) Log Perarson type III 분포형

Log Perarson type III 분포형은 미국에서 홍수자료해석에 추천되고 있는 분포형으로 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{|\alpha|\Gamma(\beta)x} \left[\frac{\ln(x) - y_0}{\alpha} \right]^{\beta-1} \exp \left[-\frac{\ln(x) - y_0}{\alpha} \right]$$

y_0 : location parameter $e^{y_0} \leq x < \infty$ if $\alpha > 0$

α : scale parameter $0 < x \leq e^{y_0}$ if $\alpha < 0$

β shape parameter

7) Weibull 분포형

Weibull 분포는 처음에 재료의 안정성과 수명시험을 모의하기 위하여 제안되었으며 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left[\frac{x - x_0}{\alpha} \right]^{\beta-1} \exp \left\{ -\left[\frac{x - x_0}{\alpha} \right]^\beta \right\}$$

x_0 : location parameter

α : scale parameter

β shape parameter

8) Wakeby 분포형

Wakeby 분포는 다음과 같이 역함수 형태로 정의된다.

$$x = m + a [1 - (1 - F)^b] - c [1 - (1 - F)^{-d}]$$

m, a, b, c, d parameters

9) Normal 분포형

통계학에서 가장 널리 적용되는 분포형으로 자료의 분포가 대칭이거나 왜곡도 계수가 0에 가까운 경우에 적합하다. 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

μ : 평균

σ : 표준편차

10) Generalized logistic

형상매개변수(K)가 음수일 경우 상한이 존재하지 않는 특징 때문에 영국에서 홍수빈도해석 시 활용하는 확률분포형으로 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{a} \left[1 - k\left(\frac{x-\varepsilon}{a}\right)\right]^{\frac{1}{k}-1} \left[1 + \left\{1 - k\left(\frac{x-\varepsilon}{a}\right)\right\}\right]^{-2}$$

ε : location parameter $\varepsilon + \frac{a}{k} \leq x < \infty, k < 0$

a : scale parameter $-\infty < x \leq \varepsilon + \frac{a}{k}, k > 0$

k : shape parameter

11) Generalized Pareto

Wakeby 분포의 특별한 경우에 사용하며 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{a} \left[1 - \frac{k}{a}(x-\varepsilon)\right]^{\frac{1}{k}-1}$$

ε : location parameter $\varepsilon \leq x < \infty, k \leq 0$

a : scale parameter $\varepsilon \leq x \leq \varepsilon + \frac{a}{k}, k > 0$

k : shape parameter

2.3 확률분포형의 매개변수 추정

1) 모멘트법(method of moments)

모멘트법은 1902년 Karl Pearson에 의하여 개발되었으며, 그는 확률분포의 매개변수에 관한 우량 추정치(good estimate)는 원점에 대한 확률밀도함수의 모멘트와 표본자료의 모멘트가 서로 같을 때의 값들이라고 생각하였다. 각각 가상적인 질량(mass)으로 규정된 자료치가 만일 자료치의 상대적 발생도수(1/n)와 같고 이러한 질량계가 원점 $x=0$ 에 관하여 회전한다고 가정하면, 그 때 원점에 대한 관측치 x_i 와 그 것의 질량 1/n의 곱이며, 전 자료에 걸친 이들 모멘트의 합은 다음 식과 같이 표본의 평균이 된다.

$$\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \bar{x}$$

이것은 물체의 도심과 같으며, 이에 대응되는 확률밀도함수의 도심은 다음 식과 같다.

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$$

마찬가지로 확률분포의 2차, 3차 모멘트로 표본의 2차, 3차 모멘트와 같게 놓음으로써 확률분포의 매개변수를 결정할 수 있다. Pearson은 원래 원점에 관한 모멘트만 고려하였지만, 후에는 확률분포의 제2, 제3의 매개변수를 결정하기 위하여 일반적으로 2차 중앙모멘트로서 분산 $\sigma^2 = E[(x-\mu)^2]$ 를, 표준화된 3차 중앙모멘트로서 왜곡도계수 $= E[(x-\mu)^3]/\sigma^3$ 을 사용하게 되었다.

2) 최우도법(method of likelihood)

최우도법은 R.A. Fisher에 의해 개발되었으며, 그는 확률분포의 매개변수에 대한 최적치는 관측된 표본의 값이 발생할 결합확률 또는 우도(likelihood)를 최대

화하는 값이어야 한다고 생각하였다.

표본공간은 길이 dx 인 구간으로 나누어져 있고, 관측치 x_1, x_2, \dots, x_n 이 독립이고 균등분포인 표본이 주어져 있다고 가정하면, $X=x_i$ 에 대한 확률밀도 값은 $f(x_i)$ 이고, x_i 를 포함하는 구간내에서 확률변수가 발생할 확률은 $f(x_i)dx$ 가 된다. 관측치들은 서로 독립적이기 때문에 관측치들이 발생할 결합확률은 다음의 식과 같다.

$$f(x_1)dx \cdot f(x_2)dx \cdot \dots \cdot f(x_n)dx = \left[\prod_{i=1}^n f(x_i) \right] dx^n$$

관측된 표본의 결합확률을 최대화하는 것은 우도함수(likelihood function)를 최대화하는 것과 같으며, 우도함수는 다음식과 같다.

$$L = \prod_{i=1}^n f(x_i)$$

대부분의 확률밀도함수는 지수함수이므로 우도함수 대신 아래식과 같은 대수 우도함수(log-likelihood function)를 사용하는 것이 훨씬 편리하다.

$$\log L = \sum_{i=1}^n \log[f(x_i)]$$

최우도법은 표본크기가 충분히 클 때 가장 효율적인 방법으로 평가되지만 수렴성에 있어서 문제가 발생할 수 있으며, 표본의 크기가 작을 때 일반적으로 잘 일치하지 않는 결과를 얻게 된다.

3) 확률가중모멘트법(probability weighted moments)

누가 확률밀도함수 $f(X)$ 를 갖는 확률변수 X 에 대한 확률가중모멘트(PWM)의 일반식은 다음과 같다.

$$M_{p,r,s} = E[X^p F^r(x) \{1-F(x)\}^s]$$

여기서 p, r, s 는 정수이고, $M_{p,0,0}$ 이면 원점에 대한 기존의 p 차 모멘트와 동일한 값을 나타낸다. (즉, $M_{p,0,0} = E[X^p]$)

매개변수 추정에 있어서 특별히 관심의 대상이 되는 것은 $p=1$, s 또는 r 이 0 또는 음이 아닌 정수일 때이다. 모집단의 확률가중모멘트는 다음 식과 같이 두가지 형태로 나타낼 수 있다.

$$M_{1,r,0} = E[X F^r(x)] \equiv B_r, \quad p=1, r, s=0$$

$$M_{1,0,s} = E[X \{1-F(x)\}^s] \equiv B'_s, \quad p=1, r=0, s$$

상기 식 중 어느 확률가중모멘트를 사용할 것인가 선택은 선정된 분포형에 따라 매개변수 추정에 편리한 것을 사용한다. 상기 식에 정의된 모집단 확률가중모멘트에 대한 각각의 불편확률가중모멘트(UPCased PWM)는 다음 식과 같이 주어진다.

$$\widehat{B}_r = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j \frac{(j-1)(j-2)\cdots(j-r)}{(N-1)(N-2)\cdots(N-r)}, \quad r \geq 1$$

$$\widehat{B}'_s = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j \frac{(N-j)!(N-s-1)!}{(N-j-s)!(N-1)!}, \quad s \geq 0$$

여기서, $\widehat{B}_0 = \widehat{B}'_0 = \bar{X}$ 이고, \bar{X} 는 표본자료의 통계를 나타내며, $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_N$ 인 순서 통계량이다.

일반적으로 확률가중모멘트는 일반적인 모멘트 보다 작은 자료수에 의한 영향을 덜 받으며, 안정적이고 극대 강우사상이 포함된 자료계열에도 큰 왜곡 특성이 나타나지 않으며 간단한 장점을 가지고 있다.

2.4 적합도 검정

매개변수의 적합성 검토는 추정된 매개변수의 적용분포형의 확률변수 및 매개변수 조건을 만족하는지 여부를 파악하고 적합성 조건을 만족하지 못하는 경우에는 분포형/매개변수추정방법은 사용이 불가하다. Table II-1는 확률분포형의 확률변수 범위 및 매개변수 적합성 조건을 나타낸다.

Table II-1. Range of random variable in probability distribution pattern and parameter conformity condition

확률분포형	확률변수의 범위 및 매개변수 적합성 조건
Lognormal	$x_0 < x < \infty$
Gamma	$x_0 \leq x < \infty$ for $\alpha > 0$ $\beta > 0$ $-\infty < x \leq x_0$ for $\alpha < 0$
Log-Pearson type III	$\alpha > 0$ 일 때 $e^{y_0} \leq x < \infty$ $\alpha < 0$ 일 때 $-\infty < x \leq e^{y_0}$
GEV	$\beta = 0$ 일 때 GEV-1 : $-\infty < x < \infty$ $\beta < 0$ 일 때 GEV-2 : $x_0 + \alpha/\beta \leq x < \infty$ $\beta > 0$ 일 때 GEV-3 : $-\infty < x \leq x_0 + \alpha/\beta$
Gumbel	$-\infty < x < \infty$
Log-Gumbel	$x_0 < x < \infty$, $\theta > x_0$, $\beta > 0$
Weibull	$x_0 \leq x < \infty$, $\alpha > 0$, $\beta > 0$
Wakeby	$b + d > 0$ 또는 $b = c d = d = 0$ $a b = 0$ 이면 $b = 0$, $c d = 0$ 이면 $d = 0$, $c d \geq 0$, $a b + c d \geq 0$, $b > -1$ 이고 $d < 1$

1) χ^2 검정

χ^2 검정은 관측된 확률변수의 어떤 이론확률 분포에 적합한가를 판단하기 위한

검정 방법으로서 자료치를 크기에 의해 k 개의 계급구간으로 나누고 이론치와 자료치의 절대뒀수를 비교한다. χ^2 검정의 통계량 χ^2 는 다음 식과 같이 정의한다.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$$

여기서, n_i 는 n 개의 관측 자료를 크기에 의해 k 개의 계급구간으로 나누었을 때 i 번째 구간에 속하는 관측 자료의 절대뒀수이며, np_i 는 관측 자료의 수 n 에 이론적인 발생확률 p_i 를 곱한 것으로서 확률분포의 검정하고자 하는 i 번째 구간의 이론뒀수이다. 본 연구에서는 다음의 공식을 이용하여 계급수를 결정하였다.

$$k = 1 + 3.322 \log_{10}(N)$$

여기서, N 자료기간

계산된 통계량 χ^2 가 아래 관계식을 가지면 가정된 분포는 유의수준 α 로 적합성이 인정되며 그렇지 못하면 기각된다.

$$\chi^2 < \chi_{1-\alpha, V}^2$$

여기서, $\chi_{1-\alpha, V}^2$ 는 자유도 $V (= k - 1)$ 일 때 유의수준 α 로 가정한 분포의 적합성을 인정하는 χ^2 의 한계치이다.

2) Kolmogorov-Smirnov 검정

Kolmogorov-Smirnov 검정은 표본자료의 누가확률 분포와 가정된 이론확률분포의 누가확률 분포를 비교하는 것으로서, 양자의 최대편차다. 표본의 크기와 유의수준에 따라 결정되는 한계편차보다 크면 분포는 기각되며, 최대편차 D_n 은 다음과 같이 표시된다.

$$D_n = \text{Max} |F(x) - S_n(x)|$$

여기서, D_n 은 $F(x)$ 와 $S_n(x)$ 차의 최대값으로서 정의되면 n 의 크기에 따라 좌우되는 확률변수로 주어진 유의수준 α 로서 적합성을 검정하고 할 때 D_n 을 다음식으로 정의되는 한계치 D_n^α 와 비교하게 된다.

$$P(D_n \leq D_n^\alpha) = 1 - \alpha$$

여기서, 최대편차 D_n 이 한계치 D_n^α 보다 작으면 가정된 분포는 유의수준 α 로서 그 적합성이 인정된다. Kolmogorov-Smirnov 검정방법은 χ^2 검정방법과는 다르게 자료를 계급구간으로 나누어 이론분포를 표시하기 위한 매개변수를 계산할 필요가 없으므로 비매개변수적 방법이라고 하며 χ^2 검정방법보다 유리한 점이다.

3) Cramer Von Mises 검정

이 검정방법도 Kolmogorov-Smirnov 검정방법과 마찬가지로 누가분포함수에 대하여 검정하는 방법이다. 임의의 표본자료 x_1, x_2, \dots, x_n 가 누가분포함수 $F(x, \Theta)$ 으로 정의된 확률분포형을 모집단으로 갖는다는 가정을 검정하는데 사용된다. 여기서 Θ 는 표본자료의 크기가 N 인 자료에서 추정된 매개변수의 집합이라고 할 때 Cramer Von Mises 검정통계량 W 는 다음과 같이 계산된다.

$$W = \frac{1}{12N} + \sum_{i=1}^N \left[F_X(x_i; \Theta) - \frac{2i-1}{2N} \right]^2$$

여기서, $F(x, \Theta)$ 는 크기순으로 배열된 $X_j = x_j$ 위치에서 계산된 누가분포함수이다. 유의수준 α 에서 $W > W_{1-\alpha}(N)$ 를 만족하면 선정된 확률 분포형이 표본자료에 대하여 적합하다고 할 수 있다.

3) PPCC(Probability Plot Correlation Coefficient) 검정

유의수준 및 자료의 크기에 따른 검정통계량을 유도하여 검정하는 방법으로 확률도시상관계수 검정방법은 자료의 적모멘트 상관계수를 이용하여 적합도 검

정을 수행하며 자료의 적모멘트 상관계수와 가설검정통과는 다음과 같다.

$$r_c = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(M_i - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}}$$

가설검정통과: $r_c > r_{\alpha}(N)$

Ⅲ. 연구대상지역 및 강우자료 분석

1. 연구대상지역

1.1 지형 및 경사

본 연구의 대상지역인 제주도는 총 면적 1,848 km^2 이며 동경 126° 08' 38" ~ 126° 58' 22", 북위 33° 06' 36" ~ 34° 00' 46" 에 위치한다. 섬 중앙의 표고 1,950m인 한라산 백록담을 정점으로 완만한 구릉 모양을 이루는 원추형의 순상화상(shield volcano)의 특성을 보이고 있는 지역이다(Fig III-1).

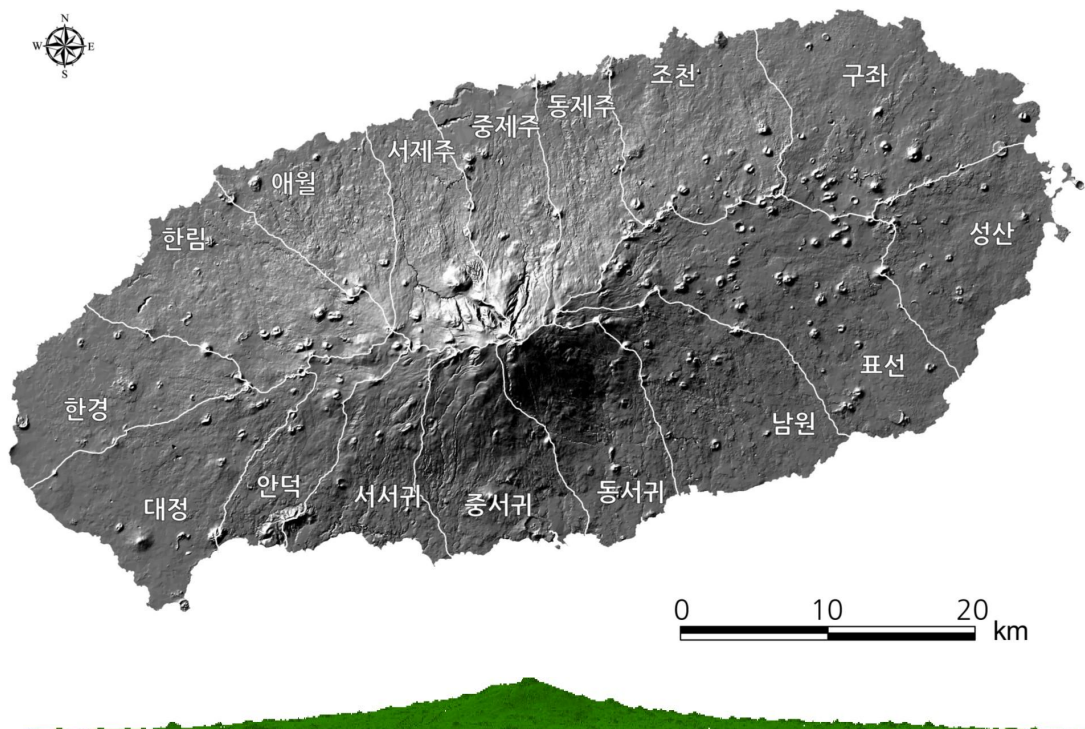


Fig. III-1. Shade fluctuation in Jeju (Jeju Special Self-Governing Province, 2013)

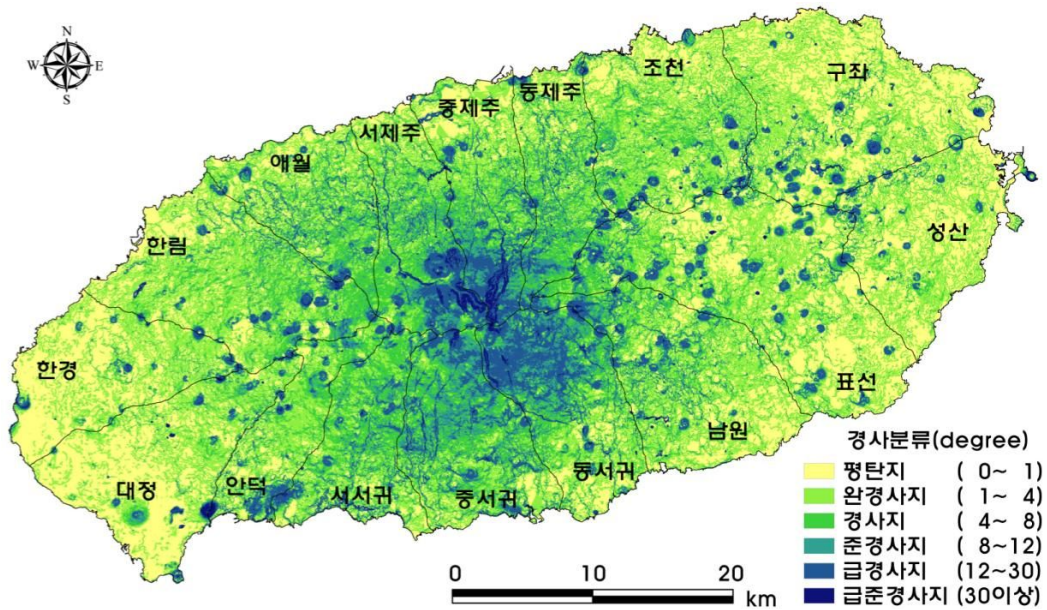


Fig. III-3. Terrain gradient distribution status in Jeju(Jeju Special Self-Governing Province, 2013)

1.2 기후 특성

기상청에서 관할하는 제주도의 유인 관측소는 제주, 고산, 성산, 서귀포 등 4개 소이다. 기상청의 한국기후표에 따르면 제주도의 평균기온은 15.4℃ ~ 16.6℃이며, 서귀포가 16.6℃로 가장 높으며, 평균풍속은 고산이 7.0m/s 로 가장 세며 타 지역은 3.0m/s 내외이며, 습도는 고산이 가장 높은 74.5%를 나타내며, 계기 증발량은 제주 및 서귀포에서만 관측되며, 1,229.4mm와 1,207.1mm를 각각 나타내고 있다(기상청, 2011).

Table III-1. Climatological normal in Jeju Island (Korea Meteorological Administration, 2011)

구 분	기온(℃)			풍속 (m/s)	강수량 (mm)	습도 (%)	계기증발량 (mm)
	평균	최고	최저				
제 주	15.8	18.9	12.9	3.5	1,497.6	69.6	1,229.4
서귀포	16.6	20.2	13.5	2.9	1,923.0	68.7	1,207.1
성 산	15.4	19.2	11.9	3.2	1,966.8	71.7	-
고 산	15.6	18.4	13.1	7.0	1,142.8	74.5	-

2. 지점별 강우량 자료 구축

2.1 강우량 관측지점 현황

확률강우량도를 작성하기 위하여 기상청 AWS 관측지점 자료를 관측시작년도부터 2012년까지 구축하였다. 제주도에서는 기상청 관한 AWS 관측지점 24개소가 운영되고 있으며 제주북부지역 5개소, 제주남부지역 6개소, 제주동부지역 4개소, 제주서부지역 5개소, 제주산간지역 4개소로 분포되어 있다. 그 중 제주도 북속도서지역인 추자도, 우도, 마라도, 가파도 지역을 제외하면 20개소가 운영되고 있으며 그 현황은 Fig. III-3 및 Table III-2와 같다.



Fig. III-4. Meteorological network map in Jeju Meteorological Agency(Jeju Regional Meteorological Administration)

Table III-2. Jeju Special Self-Governing Province Meteorological Agency's AWS observing points

구분	지점	고도(m)	설치장소
제주북부	제주	20	제주시 건입동 1123-13
제주북부	아라	379	제주시아라일동
제주북부	유수암	422	제주시애월읍유수암리
제주북부	선흘	341	제주시 조천읍 선흘리
제주북부	추자도	18	제주시 추자면 대서리
제주남부	서귀포	50	서귀포시 서귀동 538
제주남부	회수	226	서귀포시 대포동
제주남부	중문	63	서귀포시 색달동
제주남부	남원	19	서귀포시 남원읍 남원리
제주남부	태풍센터	243	서귀포시 남원읍 한남리
제주남부	서광	139	서귀포시 안덕면 서광리
제주동부	성산	18	서귀포시 성산읍 신산리 685-4
제주동부	구좌	25	제주시 구좌읍 세화리
제주동부	우도	39	제주시 우도면 서광리
제주동부	표선면	74	서귀포시 표선면 하천리
제주서부	고산	71	제주시 한경면 고산리 3762
제주서부	한림	22	제주시 한림읍 한림리
제주서부	모슬포	12	서귀포시 대정읍 하모리
제주서부	마라도	36	서귀포시 대정읍 가파리
제주서부	가파도	13	서귀포시 대정읍 가파리
제주산간	어리목	972	제주시 해안동
제주산간	윗세오름	1,673	제주시 애월읍 광령리
제주산간	성관악	763	제주시 조천읍 교래리
제주산간	진달래밭	1,490	서귀포시 남원읍 하례리

2.2 강우관측소 선정 및 지속시간별 연최대강우량(임의시간) 자료 구축

고도를 고려한 제주도의 확률강우량을 산정하기 위해서 기상관서 4지점과 AWS 20지점을 강우관측소로 선정하였다. 그러나 제주남부지역에 위치한 태풍센터 관측소의 경우 관측시작일이 2008년으로 10년 미만의 자료를 구축하고 있어 확률강우

량을 산정하는데 제외하였으며, 선정된 23개소의 시강우량 자료를 수집하여 연도별 지속시간별 강우량을 분석하였다.

국토부(2012)에서는 수집된 고정시간 강우량 자료는 임의시간 강우량 자료로 환산하는 것을 필수로 하고 있으며, 재현기간은 2년, 10년, 20년, 30년, 50년, 80년, 100년, 200년을 기본으로 제시하고 있다.

고정시간 지점강우량을 임의시간 지점강우량으로 변환하기 위하여 확률강우량도 개선 및 보완 연구(2011, 국토해양부)에서 제시한 Table III-3을 회귀분석한 다음과 같은 식을 적용하였다.

$$Y=0.1349X^{-1.399}+1.0008$$

여기서, Y 는 환산계수, X 는 강우지속시간(hr)이다.

강우지속기간이 48시간을 초과하는 경우 환산계수를 적용하지 않아도 무방하며, 원래 임의지속기간 자료인 10분 및 60분 강우량자료는 환산계수를 적용하지 않고 그대로 사용하여야 한다.

Table III-3. Fixed time-arbitrary time conversion factor

고정시간 (hr)	1	2	3	4	6	9	12	18	24	48
임의시간 (min)	60	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880
환산계수	1.136	1.051	1.031	1.020	1.012	1.007	1.005	1.004	1.003	1.000

위와 같은 방법을 이용하여 23개 지점의 지속시간별 연최대강우량(임의시간)을 구축하였다(Table III-4).

Table III-4. Duration time-specific annual maximum rainfall(arbitrary time) database

-제주

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
1961	64.1	91.5	132.1	159.8	173.7	178.2	178.6	235.2	235.2
1962	44.0	72.4	84.1	93.1	94.8	99.9	134.4	138.9	144.7
1963	24.3	42.9	52.6	58.7	58.7	62.0	77.9	93.8	100.9
1964	25.6	34.5	34.5	39.4	48.7	60.6	61.2	71.8	75.5
1965	35.9	48.8	58.9	69.4	70.7	70.8	85.8	97.8	97.8
1966	48.5	88.4	96.4	125.3	129.7	133.7	158.9	176.6	193.8
1967	33.6	45.7	45.7	45.8	47.9	49.7	57.8	60.5	64.8
1968	43.6	64.4	64.4	64.4	66.7	70.3	87.9	118.0	119.2
1969	24.4	37.3	42.8	47.5	61.1	67.7	99.6	109.9	115.6
1970	37.5	60.2	80.1	100.2	118.3	130.3	165.7	185.4	191.7
1971	42.9	49.5	64.9	65.6	70.7	76.3	143.6	150.9	151.2
1972	36.8	48.1	61.8	79.6	94.7	107.1	116.7	116.7	116.7
1973	36.1	57.8	81.2	93.7	103.8	114.4	214.3	233.2	235.3
1974	45.5	61.0	67.4	75.5	82.8	87.6	136.5	148.1	149.2
1975	24.6	46.3	54.2	61.7	62.6	63.1	80.3	82.3	87.4
1976	36.6	57.8	71.4	73.8	74.4	80.8	101.3	124.1	135.0
1977	22.8	34.2	39.9	44.4	47.2	47.2	64.5	64.7	64.7
1978	36.1	54.1	62.6	74.0	84.3	91.6	135.2	154.0	159.3
1979	70.8	108.1	119.2	128.7	137.3	145.9	238.9	264.0	287.6
1980	31.8	51.2	65.7	85.8	105.0	122.3	145.2	146.0	147.3
1981	80.2	109.4	124.3	136.6	147.7	153.2	196.8	286.4	357.6
1982	35.6	53.5	60.6	74.0	80.4	88.8	107.0	124.2	144.7
1983	32.6	39.5	49.6	63.6	74.7	85.4	151.5	197.6	234.3
1984	20.3	25.7	34.3	44.7	53.4	59.0	92.3	103.6	120.6
1985	40.2	61.6	82.5	102.6	122.4	142.1	225.4	265.8	285.6
1986	80.2	118.0	118.0	128.7	148.3	162.1	259.7	330.2	334.2
1987	44.6	63.2	82.1	105.2	126.4	143.6	179.0	179.8	179.8
1988	36.6	57.7	67.9	78.4	86.2	94.5	129.5	147.0	153.3
1989	34.7	57.4	70.5	82.4	103.6	127.2	156.6	189.6	199.2
1990	46.5	46.5	46.5	48.3	49.8	51.4	89.5	101.5	114.2
1991	28.6	43.2	54.3	69.5	77.0	87.3	123.4	124.7	144.9
1992	33.0	33.0	33.0	37.6	41.8	44.1	58.6	65.6	69.6
1993	47.2	73.6	81.8	86.5	96.6	105.6	133.1	133.7	142.4
1994	53.1	80.0	117.8	142.7	153.8	156.9	171.9	183.5	214.3
1995	84.8	131.4	162.5	166.6	169.6	169.6	201.4	222.7	230.9
1996	28.3	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6	50.8	63.9	67.7
1997	32.6	32.6	32.6	44.0	46.8	51.8	81.7	86.6	86.9
1998	34.2	52.8	68.5	81.4	98.0	115.3	177.3	196.8	255.4
1999	72.3	108.1	127.4	144.5	174.4	199.1	250.6	256.2	261.7
2000	23.1	37.3	45.5	52.3	67.3	71.5	112.6	162.7	170.3
2001	32.2	42.2	52.4	67.2	70.4	73.9	77.3	86.7	93.7
2002	44.0	74.0	99.2	123.2	134.6	140.3	199.5	223.7	228.7
2003	47.4	63.8	77.5	97.0	117.4	135.7	204.6	214.6	243.3
2004	44.0	73.5	102.8	128.8	143.3	144.9	176.3	178.9	191.0
2005	34.4	41.6	51.1	65.7	65.8	76.0	82.8	98.8	104.6
2006	70.0	75.7	105.9	128.8	133.6	133.7	158.7	163.2	163.2
2007	79.6	124.3	158.0	202.7	264.1	291.7	414.7	423.9	423.9
2008	35.0	60.5	60.5	60.5	60.5	60.5	80.8	84.3	97.5
2009	95.4	125.4	127.6	127.6	127.6	127.6	127.6	127.6	127.6
2010	39.0	48.6	60.4	63.6	66.8	71.9	109.5	112.9	137.7
2011	52.5	94.0	102.3	131.9	159.6	175.8	269.2	297.8	302.5
2012	48.3	86.2	113.6	130.9	148.2	168.7	298.3	347.8	389.7

Table III-4. 계속

-서귀포

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
1961	35.8	47.2	50.4	65.6	77.9	86.4	107.5	107.5	115.1
1962	39.9	53.7	60.5	67.3	76.1	82.7	97.4	108.1	120.4
1963	46.7	61.6	72.1	93.1	103.4	109.1	136.2	164.0	184.5
1964	46.3	71.8	90.4	97.0	100.2	101.5	139.5	152.7	156.9
1965	36.7	63.2	83.2	109.3	134.9	147.9	187.0	190.4	190.4
1966	31.8	50.9	52.2	60.6	72.2	78.1	130.2	136.7	139.2
1967	36.7	54.6	67.0	79.5	90.3	92.6	96.3	97.6	106.7
1968	36.1	62.7	79.5	97.5	111.7	128.2	163.9	167.1	167.1
1969	54.6	65.7	72.3	85.7	95.5	101.9	111.9	112.8	121.4
1970	29.5	46.1	65.8	83.7	96.8	101.6	126.6	135.3	137.0
1971	33.6	51.0	62.4	67.4	71.8	75.9	92.8	97.7	100.5
1972	30.5	53.0	68.6	82.4	89.2	89.5	131.0	173.7	183.2
1973	30.0	54.6	58.0	61.4	67.7	71.0	97.0	127.3	132.1
1974	36.0	51.6	61.9	70.8	77.5	85.4	104.9	118.9	131.2
1975	49.2	68.1	83.2	90.8	94.0	96.8	113.0	113.0	113.0
1976	59.4	70.0	70.0	70.0	70.1	76.9	106.0	115.0	118.6
1977	38.4	53.5	63.5	71.8	73.4	76.9	107.8	122.6	127.7
1978	26.1	43.1	52.4	69.3	75.7	79.8	105.3	116.2	128.0
1979	46.1	82.2	108.7	130.5	151.9	173.2	266.5	330.4	338.2
1980	42.8	63.7	73.5	82.9	84.8	88.1	99.8	99.8	99.8
1981	61.0	65.7	69.1	77.7	79.7	81.1	112.5	128.7	154.4
1982	47.5	47.5	47.5	52.6	61.6	66.4	82.4	86.8	94.9
1983	50.9	55.8	61.4	69.1	73.3	73.6	96.6	126.9	151.5
1984	38.6	50.2	77.5	93.0	105.0	110.8	122.8	122.8	122.8
1985	66.0	116.1	153.8	174.4	178.9	186.4	209.3	229.3	284.0
1986	51.4	51.4	59.2	62.6	65.5	70.3	105.3	121.9	124.9
1987	59.8	100.5	111.0	120.9	130.0	134.3	154.3	205.7	219.1
1988	42.0	71.9	73.0	83.3	103.8	123.4	173.3	183.0	184.9
1989	47.1	64.9	69.8	70.2	78.2	86.9	108.6	122.0	141.6
1990	78.5	81.0	82.5	86.1	95.7	96.8	139.0	175.0	197.3
1991	47.1	74.0	94.5	98.8	111.4	121.6	131.0	134.5	178.5
1992	51.9	90.3	111.5	135.5	159.5	176.7	220.3	255.6	261.5
1993	51.6	55.5	63.6	79.0	92.6	102.4	143.7	147.6	180.7
1994	58.7	96.3	119.4	143.8	159.1	165.6	228.6	304.9	362.4
1995	81.7	133.4	159.2	192.0	207.4	230.0	331.2	352.9	374.3
1996	53.1	88.9	115.4	128.3	135.7	146.3	193.8	206.2	222.2
1997	44.7	47.0	62.6	78.8	78.8	89.9	139.6	162.5	164.9
1998	84.7	110.5	114.5	114.5	120.2	134.6	207.2	222.0	281.9
1999	53.7	80.0	91.3	128.2	140.8	155.6	202.1	246.7	262.1
2000	39.0	45.4	56.9	66.8	71.3	79.1	91.4	96.2	126.7
2001	38.4	50.8	58.0	66.7	75.6	81.6	108.9	139.6	158.5
2002	35.0	54.1	72.3	81.6	86.7	91.2	118.7	130.0	142.2
2003	39.0	69.7	88.3	99.0	107.1	124.1	174.8	181.4	211.6
2004	55.3	82.2	114.1	149.8	157.5	157.5	165.7	198.5	218.1
2005	41.2	41.2	43.9	50.3	54.0	58.8	79.4	81.7	81.7
2006	41.2	54.1	67.1	81.6	94.8	106.4	128.3	139.3	142.4
2007	62.1	92.4	117.2	140.1	154.0	166.1	267.2	268.0	268.0
2008	37.8	71.3	88.8	106.7	115.7	122.1	137.9	137.9	138.0
2009	80.7	80.7	80.7	100.6	100.6	100.6	135.5	139.7	140.5
2010	43.5	58.4	75.4	92.4	104.0	112.4	137.9	158.3	168.3
2011	84.1	87.0	130.2	143.2	144.3	144.9	144.9	144.9	170.3
2012	73.9	101.6	124.0	126.7	144.3	157.5	239.9	320.4	356.3

Table III-4. 계속

-고산

지속시간(분) 년도									
	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
1988	48.1	49.4	49.4	49.4	51.3	54.1	55.1	63.1	67.0
1989	30.7	44.3	57.3	63.3	65.2	78.3	115.4	152.5	181.0
1990	22.9	30.3	37.2	46.7	49.4	49.4	51.1	63.8	64.0
1991	56.9	70.3	89.6	103.6	112.6	127.7	173.7	176.9	264.6
1992	35.1	65.3	75.5	84.6	91.0	95.2	114.8	127.7	131.5
1993	36.2	44.4	52.7	63.3	71.0	77.7	92.6	92.7	92.9
1994	34.7	48.2	50.7	61.7	67.5	68.3	76.8	77.1	81.8
1995	38.8	69.3	79.7	95.9	108.6	120.9	172.1	177.2	198.9
1996	30.5	41.1	51.2	69.3	87.1	88.8	99.0	101.0	110.7
1997	45.8	46.5	56.1	75.5	75.5	75.5	110.7	126.7	126.9
1998	25.5	45.2	60.7	75.9	87.7	92.3	149.4	171.1	189.5
1999	40.5	64.0	72.1	82.0	93.4	113.7	189.1	237.7	254.4
2000	39.5	69.2	70.2	80.6	88.7	98.8	151.4	157.3	157.3
2001	37.3	37.3	43.1	58.5	59.7	66.6	74.8	106.0	113.1
2002	32.7	56.8	63.0	67.2	68.3	68.9	77.8	80.6	92.0
2003	41.8	61.6	80.6	100.6	114.7	124.1	138.5	138.7	140.2
2004	49.7	50.3	50.3	54.4	74.9	78.4	101.5	136.0	159.8
2005	23.1	31.9	41.3	41.3	41.3	41.5	46.0	52.2	53.2
2006	60.4	100.5	116.2	126.2	133.6	149.4	171.2	190.2	190.2
2007	49.1	80.0	89.4	91.9	96.9	104.8	114.7	114.7	121.6
2008	32.7	32.7	36.2	39.0	44.4	45.6	66.2	66.2	66.2
2009	40.6	42.2	44.9	69.8	69.8	69.8	76.3	87.2	88.9
2010	45.7	58.9	62.5	68.8	74.4	74.5	78.3	82.7	101.0
2011	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	68.9	82.9
2012	35.6	49.7	56.8	70.3	87.7	94.7	130.3	140.1	149.7

Table III-4. 계속

-성산포

지속시간(분) 년도									
	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
1973	50.8	51.9	64.6	82.1	96.4	108.9	176.8	185.7	185.7
1974	32.2	48.1	66.1	81.1	87.2	99.8	143.0	178.4	189.9
1975	45.2	45.9	53.2	55.4	55.4	55.4	58.6	58.6	58.6
1976	29.4	40.5	43.4	51.8	66.3	76.5	104.1	112.4	115.1
1977	33.9	55.1	57.3	73.9	73.9	80.0	120.2	126.5	126.5
1978	28.2	43.2	51.0	56.3	67.8	76.0	90.4	92.4	93.8
1979	45.2	71.3	83.7	85.2	89.7	97.8	134.4	155.2	171.4
1980	49.7	59.5	64.6	72.4	82.6	87.1	115.7	153.2	166.8
1981	114.0	138.9	155.5	178.1	185.1	185.1	229.8	251.9	265.8
1982	47.4	47.4	54.2	59.3	59.3	59.3	78.1	83.6	88.3
1983	44.7	59.6	69.3	77.1	82.1	100.8	127.6	128.4	159.1
1984	74.5	102.2	119.3	129.3	137.1	141.8	153.1	153.1	153.1
1985	44.0	79.1	84.9	92.4	110.9	121.9	200.5	221.7	255.2
1986	57.6	77.3	77.3	91.3	93.8	93.8	163.7	206.4	207.0
1987	62.7	89.2	122.9	158.1	182.5	204.6	254.1	254.1	254.1
1988	70.6	82.8	84.3	84.3	92.9	92.9	118.3	125.6	133.7
1989	77.9	93.5	93.5	93.5	93.5	93.5	93.5	102.1	112.2
1990	45.2	60.0	72.8	78.8	78.8	82.1	142.8	163.0	169.3
1991	46.3	65.1	88.3	93.1	105.7	120.6	139.2	140.1	153.9
1992	77.3	136.2	155.0	178.1	191.2	200.6	274.8	306.8	307.5

1993	47.2	59.5	68.2	75.9	86.7	107.9	138.9	163.8	194.0
1994	45.7	81.1	105.4	119.6	133.6	147.4	192.0	243.4	265.3
1995	84.7	135.1	161.7	191.4	206.0	222.4	285.4	297.8	303.5
1996	88.6	88.6	88.6	89.8	101.0	108.9	130.8	151.2	153.3
1997	57.6	57.6	68.7	85.2	87.7	88.6	137.0	151.3	152.3
1998	111.8	111.8	138.4	172.4	172.4	175.8	189.3	191.2	219.6
1999	45.7	71.3	84.2	101.6	106.6	107.9	158.3	166.3	178.0
2000	30.5	40.0	41.8	45.7	51.0	55.7	85.4	105.3	116.1
2001	106.1	137.3	137.3	137.3	137.3	137.3	137.3	137.3	137.3
2002	45.2	59.5	66.6	79.0	84.1	91.7	110.1	123.9	137.2
2003	73.4	102.7	127.6	147.8	161.1	172.2	197.5	218.2	221.4
2004	99.9	122.7	155.0	172.9	178.4	192.0	227.3	241.3	256.3
2005	108.9	128.6	150.3	202.7	207.0	209.7	216.4	216.4	216.4
2006	92.6	110.3	138.4	139.1	139.1	139.1	153.7	153.8	176.9
2007	73.4	132.4	132.4	142.7	144.8	145.9	255.6	280.1	347.2
2008	77.3	95.1	97.6	98.0	98.0	98.0	98.5	130.5	138.7
2009	65.5	78.9	103.8	126.2	129.0	129.0	129.0	129.0	129.0
2010	40.6	54.6	57.8	69.3	80.6	87.1	92.0	127.5	145.2
2011	83.5	110.8	115.2	144.2	144.2	144.2	145.7	145.7	152.3
2012	67.6	80.5	90.8	103.0	120.8	125.4	199.0	234.2	293.1

Table III-4. 계속

-구좌

년도	지속시간(분)								
	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
1997	102.7	164.2	241.7	255.5	255.5	259.0	267.0	268.5	272.5
1998	39.0	52.4	68.0	72.6	79.3	83.1	116.8	148.3	199.0
1999	56.0	69.9	76.4	78.2	78.5	101.3	149.5	150.0	165.5
2000	54.2	63.0	70.8	72.5	73.7	86.6	137.4	180.0	184.5
2001	27.7	38.5	39.5	40.9	48.8	54.7	63.9	70.0	84.4
2002	46.3	58.3	79.5	99.1	122.0	145.9	175.0	190.0	201.5
2003	50.2	84.2	103.3	120.1	136.7	147.9	198.4	213.0	242.5
2004	132.7	155.7	173.0	179.3	188.5	201.6	256.0	256.5	257.0
2005	58.7	71.5	74.0	75.0	80.3	85.6	88.5	90.5	94.5
2006	51.4	57.2	82.1	95.0	95.0	101.3	133.9	136.5	138.2
2007	34.5	61.4	80.6	102.7	122.5	130.5	176.7	192.6	230.0
2008	39.0	45.5	60.4	79.7	95.5	105.4	114.0	114.0	119.5
2009	66.6	80.5	92.5	95.0	99.6	103.3	107.0	108.5	109.0
2010	44.6	67.3	84.7	94.5	103.7	111.9	125.5	144.8	169.5
2011	50.2	64.3	73.3	79.0	90.2	99.3	118.2	131.6	131.9
2012	40.1	60.0	71.8	86.7	95.9	101.8	179.8	221.7	255.3

Table III-4. 계속

-남원

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
1997	93.5	93.5	93.5	93.5	94.5	96.2	112.3	164.4	187.0
1998	72.3	126.6	139.5	151.8	156.5	158.0	179.2	194.0	243.2
1999	81.3	130.8	159.1	187.0	194.1	198.0	282.9	300.6	312.5
2000	45.2	54.5	54.5	57.0	57.0	59.8	102.7	133.5	153.5
2001	37.3	64.5	66.5	67.5	67.5	76.0	89.0	128.7	131.5
2002	33.9	46.6	57.8	69.5	82.8	91.2	120.8	143.8	156.3
2003	35.6	55.1	67.7	81.2	87.4	96.2	141.0	156.9	181.0
2004	64.4	119.2	169.4	196.7	204.3	211.2	231.5	233.0	234.0
2005	40.6	51.4	51.5	51.5	71.1	73.9	86.5	90.5	91.0
2006	31.0	44.5	58.4	69.0	81.8	100.8	123.5	123.5	123.5
2007	85.8	127.1	135.0	144.1	157.5	182.8	248.0	249.5	250.0
2008	62.1	69.0	69.5	69.5	74.2	93.2	119.0	120.0	122.5
2009	59.3	65.9	66.1	97.5	103.5	111.9	143.0	144.2	153.3
2010	32.2	60.5	66.1	83.6	94.3	103.3	115.3	126.0	154.3
2011	40.1	50.3	55.3	73.9	101.5	104.3	133.4	147.6	153.3
2012	47.4	62.7	71.3	80.6	81.1	105.9	164.7	218.2	254.3

Table III-4. 계속

-마라도

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2001	106.5	107.5	108.0	110.0	113.3	117.0	205.0	211.5	215.0
2002	23.7	34.0	34.5	42.4	44.2	47.6	59.9	61.3	75.4
2003	50.5	58.3	74.4	81.2	96.0	107.4	157.1	176.0	184.4
2004	71.1	80.5	116.7	154.3	170.2	172.7	208.4	254.9	272.5
2005	33.9	42.4	46.5	46.5	47.8	49.5	50.0	50.0	50.0
2006	44.6	64.1	78.5	87.9	96.5	108.9	119.5	124.0	124.0
2007	68.9	107.5	119.8	128.2	133.1	141.8	144.0	144.0	147.2
2008	20.0	31.8	46.5	47.5	49.5	49.5	51.0	52.3	56.8
2009	67.0	79.4	82.1	91.0	92.5	95.2	116.5	134.2	145.5
2010	42.3	58.5	61.5	65.4	71.6	76.0	124.9	139.0	168.5
2011	33.9	45.9	58.4	71.8	83.1	103.8	114.2	120.4	135.2
2012	32.2	60.5	78.5	90.3	100.4	109.9	178.8	226.7	231.7

Table III-4. 계속

-서광

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
1997	17.5	27.5	34.6	43.4	53.4	55.7	69.0	80.4	92.5
1998	32.7	59.3	78.0	84.8	87.4	89.1	122.8	146.5	181.5
1999	62.1	85.8	100.2	108.3	114.8	131.7	206.9	257.9	281.5
2000	35.0	55.1	62.5	79.7	83.8	101.3	131.9	155.3	155.5
2001	24.3	40.8	53.2	57.2	65.0	69.9	83.6	86.0	96.0
2002	43.5	71.5	79.5	85.3	88.9	99.3	150.5	161.5	168.8
2003	48.5	82.1	95.0	107.8	116.4	118.0	140.0	149.3	165.3
2004	58.1	72.0	75.4	76.5	79.5	80.0	127.4	169.5	179.0
2005	24.0	28.1	34.0	41.4	46.7	51.2	55.5	55.5	56.0
2006	49.1	64.6	74.4	76.1	78.3	79.5	100.0	103.1	110.5
2007	70.6	96.4	118.3	136.4	144.3	149.9	208.5	210.0	210.0
2008	33.9	40.3	52.2	59.3	70.1	76.0	102.0	102.0	105.0
2009	33.5	43.0	44.0	47.5	51.3	55.2	69.5	96.0	97.5
2010	39.5	73.6	82.6	91.5	98.6	107.4	145.5	160.5	180.9
2011	48.5	84.9	112.6	120.1	126.4	127.1	139.9	141.1	141.5
2012	53.1	87.0	97.6	121.6	144.3	157.5	245.5	270.1	282.4

Table III-4. 계속

-선홍

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
1997	17.5	27.5	34.6	43.4	53.4	55.7	69.0	80.4	92.5
1998	32.7	59.3	78.0	84.8	87.4	89.1	122.8	146.5	181.5
1999	62.1	85.8	100.2	108.3	114.8	131.7	206.9	257.9	281.5
2000	35.0	55.1	62.5	79.7	83.8	101.3	131.9	155.3	155.5
2001	24.3	40.8	53.2	57.2	65.0	69.9	83.6	86.0	96.0
2002	43.5	71.5	79.5	85.3	88.9	99.3	150.5	161.5	168.8
2003	48.5	82.1	95.0	107.8	116.4	118.0	140.0	149.3	165.3
2004	58.1	72.0	75.4	76.5	79.5	80.0	127.4	169.5	179.0
2005	24.0	28.1	34.0	41.4	46.7	51.2	55.5	55.5	56.0
2006	49.1	64.6	74.4	76.1	78.3	79.5	100.0	103.1	110.5
2007	70.6	96.4	118.3	136.4	144.3	149.9	208.5	210.0	210.0
2008	33.9	40.3	52.2	59.3	70.1	76.0	102.0	102.0	105.0
2009	33.5	43.0	44.0	47.5	51.3	55.2	69.5	96.0	97.5
2010	39.5	73.6	82.6	91.5	98.6	107.4	145.5	160.5	180.9
2011	54.8	83.8	109.5	146.2	162.6	175.2	249.5	272.6	275.1
2012	55.3	98.9	135.3	155.0	183.0	212.7	381.9	505.9	557.8

Table III-4. 계속

-성 판약

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
1998	63.2	88.5	105.0	115.0	115.5	118.0	167.1	196.5	205.5
1999	84.1	146.7	203.0	236.1	261.7	276.0	480.8	568.6	594.0
2000	40.0	59.9	84.2	95.0	112.8	117.5	176.5	211.2	276.4
2001	37.3	44.5	50.6	54.7	62.5	69.4	105.2	126.2	165.3
2002	73.9	134.5	191.6	227.9	264.2	297.3	449.1	537.9	596.0
2003	72.5	85.3	102.3	115.5	126.5	134.2	176.2	202.5	223.1
2004	85.2	120.8	166.8	201.8	232.7	239.1	308.1	312.5	314.0
2005	73.4	92.7	106.4	114.5	115.5	115.5	165.0	179.0	182.4
2006	54.8	62.0	74.9	99.6	111.8	118.0	135.0	139.3	146.5
2007	107.3	189.1	248.4	302.0	334.4	364.7	544.2	557.0	557.5
2008	44.0	73.0	75.9	98.6	125.0	125.0	127.0	132.0	140.5
2009	82.4	117.6	124.5	128.2	130.6	135.7	142.5	179.0	205.0
2010	51.4	95.3	108.5	122.6	137.2	147.4	216.0	262.4	322.5
2011	66.6	111.9	112.6	118.0	141.2	158.0	233.4	269.6	294.5
2012	83.5	150.8	205.1	240.7	280.4	307.4	419.3	502.8	566.8

Table III-4. 계속

-어리목

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
1999	31.0	35.5	38.5	50.6	58.9	70.9	126.4	162.9	184.4
2000	60.4	94.3	124.5	145.1	176.3	191.0	240.1	242.0	264.8
2001	42.9	52.5	54.5	63.9	69.6	77.5	88.1	90.5	105.5
2002	57.6	106.5	150.8	189.6	233.2	268.4	489.4	658.6	758.8
2003	81.9	127.6	167.3	218.2	240.9	283.6	372.0	385.0	399.0
2004	66.5	75.0	83.7	101.2	118.4	125.6	165.6	213.7	270.3
2005	55.3	90.6	95.0	97.0	97.5	98.0	100.5	106.0	119.1
2006	77.3	116.5	158.6	205.9	237.3	267.4	372.0	386.0	387.0
2007	80.2	129.2	175.6	213.1	256.6	304.4	447.5	453.5	454.5
2008	53.6	75.2	91.4	107.8	119.9	126.1	134.4	135.0	137.5
2009	49.1	63.0	70.5	71.5	71.5	71.5	87.6	120.7	158.8
2010	51.4	70.4	94.5	118.5	143.8	165.6	287.0	358.0	436.2
2011	79.0	144.3	184.9	229.9	263.1	305.4	441.5	519.0	524.6
2012	77.9	129.2	170.4	229.9	270.2	305.4	426.3	543.7	636.2

Table III-4. 계속

-우도

지속시간(분) 년도	지속시간(분)								
	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
1997	27.7	42.9	57.8	58.5	60.5	61.3	104.0	104.5	110.0
1998	36.1	43.4	49.1	52.0	52.5	52.5	57.5	59.3	65.8
1999	87.5	91.5	100.7	120.1	130.6	139.8	206.5	216.2	228.5
2000	16.4	26.5	31.0	39.3	39.5	39.5	43.5	51.5	53.0
2001	38.4	56.7	69.7	92.0	105.7	115.5	156.5	159.5	169.0
2002	55.3	74.2	84.2	90.4	102.6	116.5	135.9	152.0	154.5
2003	55.9	91.1	118.3	160.4	169.0	169.5	178.5	188.5	190.0
2004	48.5	80.0	101.2	102.0	102.5	111.4	128.9	147.8	168.3
2005	52.5	56.1	81.6	83.8	91.5	106.4	131.5	132.0	132.0
2006	56.4	72.0	108.5	111.5	112.0	116.0	142.0	160.0	169.8
2007	46.9	61.0	74.9	90.4	109.3	117.0	131.5	140.5	169.3
2008	98.2	102.5	112.1	113.5	117.4	131.0	134.0	134.0	134.0
2009	75.1	90.0	105.9	110.9	114.0	114.5	116.0	116.5	116.5
2010	41.2	69.4	83.7	89.4	92.5	94.2	108.2	138.3	150.5
2011	90.3	124.9	141.0	144.7	144.8	144.8	149.2	149.2	149.2
2012	68.3	85.4	99.7	102.6	110.6	128.7	218.2	287.2	367.8

Table III-4. 계속

-윗세오름

지속시간(분) 년도	지속시간(분)								
	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2003	123.6	217.2	276.3	331.6	359.3	372.3	650.0	713.9	725.1
2004	136.6	210.8	269.1	308.6	330.8	354.6	512.0	688.3	949.2
2005	46.3	83.2	114.1	141.0	166.7	178.8	222.0	224.2	233.2
2006	114.0	199.1	258.3	320.9	377.0	419.9	562.9	578.2	579.4
2007	114.6	194.4	257.2	304.0	351.1	381.9	552.8	565.6	566.3
2008	36.7	54.6	72.8	90.4	102.1	120.5	201.4	206.1	213.6
2009	79.0	136.1	178.7	214.1	242.9	267.4	384.1	384.1	384.1
2010	72.8	125.5	174.6	226.9	276.9	317.6	479.8	516.3	528.1
2011	85.8	139.4	184.4	222.2	246.3	290.7	482.9	598.6	607.5
2012	93.7	168.1	233.5	293.5	337.0	384.9	562.7	667.1	732.6

Table III-4. 계속

-진달래밭

지속시간(분) 년도	지속시간(분)								
	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2003	123.1	182.7	251.5	313.7	373.0	418.4	519.1	555.5	602.5
2004	88.1	123.4	145.1	164.5	185.5	193.5	271.9	325.8	365.8
2005	49.7	88.5	123.4	151.8	179.9	200.1	258.8	260.4	276.4
2006	81.3	152.0	213.3	270.8	330.8	382.9	560.3	585.7	585.9
2007	56.5	98.0	125.0	148.2	177.9	207.2	321.7	328.3	328.3
2008	55.9	84.7	112.1	132.3	148.9	161.6	196.3	205.6	218.6
2009	53.6	75.7	91.4	103.7	126.5	140.3	226.0	229.3	229.3
2010	65.5	103.8	140.0	170.7	208.8	240.1	414.3	509.8	611.0
2011	62.7	116.7	146.7	177.0	202.9	232.0	345.5	414.2	419.6
2012	108.9	193.0	252.6	318.2	374.2	408.7	542.5	664.6	754.8

Table III-4. 계속

-유수암

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
	1997	48.5	55.0	57.5	60.3	61.0	61.0	75.0	85.5
1998	31.6	58.8	78.0	84.3	88.9	91.0	102.5	124.7	169.3
1999	64.4	117.1	134.3	150.2	165.7	187.9	259.8	273.0	274.0
2000	66.0	84.0	86.0	87.5	87.5	99.8	164.5	191.0	193.0
2001	39.0	49.8	59.4	62.5	65.0	70.9	95.2	109.0	153.3
2002	82.5	89.0	92.0	92.0	104.7	123.6	225.0	310.2	337.0
2003	65.5	93.2	128.1	143.1	153.5	162.6	199.5	202.0	215.0
2004	46.9	75.7	76.0	77.0	77.0	79.5	90.6	121.5	143.5
2005	24.8	33.4	39.3	40.9	42.5	43.0	45.5	46.5	47.0
2006	85.2	100.6	120.3	137.4	144.5	145.0	250.0	251.5	257.0
2007	73.9	135.1	171.0	204.9	247.0	284.7	384.0	385.5	387.5
2008	28.8	49.3	56.8	63.9	66.6	68.9	69.5	69.9	74.5
2009	37.8	60.9	68.5	70.5	71.0	71.0	71.0	71.0	72.0
2010	54.8	73.6	82.0	85.8	97.1	107.5	108.5	138.3	169.8
2011	59.8	105.9	110.0	123.7	147.9	165.1	246.0	287.7	291.5
2012	64.9	117.8	134.3	149.3	167.2	197.0	339.0	380.4	401.5

Table III-4. 계속

-추자도

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
	1997	31.6	48.7	55.3	68.5	85.9	94.7	125.9	127.0
1998	29.9	41.3	45.5	52.6	58.9	71.4	101.2	128.7	139.7
1999	35.0	57.2	76.4	100.7	120.4	124.6	157.5	185.0	191.0
2000	34.4	51.9	66.6	78.7	83.8	96.7	148.5	169.9	174.4
2001	48.0	71.5	86.8	90.9	103.2	108.4	126.0	132.0	132.5
2002	36.1	48.5	70.8	78.2	88.9	105.9	186.8	236.8	306.5
2003	51.4	68.5	69.0	69.0	69.0	69.0	90.1	99.0	105.0
2004	72.0	74.0	75.0	76.0	79.8	86.6	128.4	186.5	191.5
2005	22.6	30.2	35.6	37.8	38.5	39.0	40.0	45.0	52.5
2006	45.2	59.3	64.0	66.4	77.2	79.0	84.0	87.0	109.0
2007	41.2	47.1	64.0	77.7	91.5	114.5	177.2	177.5	177.5
2008	29.4	54.0	77.0	81.8	82.5	102.8	119.8	138.0	138.0
2009	76.0	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0	91.6	99.5	100.0
2010	48.5	72.6	95.0	109.3	132.1	147.9	226.6	228.5	228.5
2011	54.2	70.3	82.1	82.1	92.3	106.4	109.6	125.5	128.7
2012	50.8	75.1	85.2	99.6	109.1	118.0	154.6	191.0	207.0

Table III-4. 계속

-표선

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
	1999	41.2	56.1	77.5	90.9	95.5	102.8	137.4	166.4
2000	26.5	34.0	37.2	38.0	40.1	43.5	63.5	64.0	76.4
2001	134.9	252.1	319.2	365.3	435.5	483.2	559.0	570.6	574.5
2002	35.6	47.5	51.7	65.9	76.2	83.6	110.8	137.8	145.7
2003	61.0	93.2	109.5	120.6	132.1	140.8	193.8	214.2	240.5
2004	112.3	172.7	222.1	253.9	277.4	297.3	335.0	336.5	337.0
2005	69.4	82.1	96.1	105.3	113.3	121.1	150.5	153.0	153.0
2006	89.8	106.5	111.6	121.6	123.5	136.8	144.0	147.0	147.0
2007	70.0	101.2	134.8	148.7	154.0	154.5	157.0	157.5	246.7
2008	38.0	55.1	81.1	83.5	86.4	87.6	91.5	91.5	130.0
2009	41.8	68.3	72.3	79.2	80.0	84.1	109.5	110.5	118.5
2010	71.7	104.3	124.5	124.5	127.0	127.5	133.0	144.8	181.4
2011	51.4	80.0	80.6	100.1	119.8	136.8	152.1	159.2	165.9
2012	65.5	94.6	105.4	110.3	117.8	119.0	182.9	243.4	281.9

Table III-4. 계속

-한림

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
	1997	24.8	38.7	41.3	42.9	43.7	45.5	62.9	71.0
1998	21.5	37.1	47.5	55.2	65.0	83.1	149.5	167.4	185.9
1999	58.1	102.8	148.8	171.7	181.4	188.4	218.0	239.0	249.0
2000	36.1	49.5	50.0	50.0	55.9	64.3	89.1	111.5	111.5
2001	19.0	30.7	42.9	50.5	51.3	52.0	55.4	66.9	78.5
2002	33.3	39.0	39.5	42.4	46.2	51.7	74.0	91.5	112.6
2003	33.3	54.0	77.5	96.1	111.8	112.5	113.5	124.0	130.0
2004	52.5	79.4	105.9	119.5	124.0	137.3	147.0	157.4	160.5
2005	28.5	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	30.0	34.2	48.2
2006	40.1	51.4	60.9	65.9	82.3	92.7	118.8	124.5	124.5
2007	70.6	109.6	155.5	183.4	213.9	242.6	296.0	296.5	296.5
2008	32.5	46.1	51.1	53.0	53.5	54.0	76.5	76.5	77.0
2009	37.8	49.3	50.0	51.6	54.4	55.2	60.5	68.4	71.0
2010	51.9	56.5	63.0	65.9	73.7	74.5	89.6	96.5	124.5
2011	31.6	58.9	71.3	85.2	102.5	113.5	158.1	175.9	176.2
2012	48.0	55.7	63.5	78.5	96.9	106.4	163.7	176.5	180.4

Table III-4. 계속

-가파도

지속시간(분) 년도	지속시간(분)								
	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2002	35.0	35.0	37.2	41.1	42.8	46.6	52.5	56.5	70.4
2003	37.8	65.4	80.1	96.5	113.2	129.2	155.1	173.4	183.4
2004	55.3	57.8	64.6	79.0	83.6	87.1	143.0	162.7	171.4
2005	32.2	36.8	43.9	44.1	44.9	46.1	47.6	49.4	51.3
2006	61.0	65.9	65.9	74.4	83.6	91.2	97.1	102.3	102.7
2007	39.0	65.4	72.8	77.5	83.1	93.7	123.8	124.2	124.2
2008	36.7	41.1	41.3	52.9	57.6	60.3	75.8	78.2	78.2
2009	56.5	60.0	65.6	71.8	74.4	78.5	97.0	138.6	148.7
2010	34.4	55.7	71.8	72.4	72.4	78.0	97.0	105.8	125.1
2011	40.1	48.1	50.6	52.9	59.7	63.3	101.0	106.3	118.6
2012	26.5	47.6	53.2	62.6	76.5	83.6	140.9	161.7	167.9

Table III-4. 계속

-모슬포

지속시간(분) 년도	지속시간(분)								
	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
1999	44.6	81.6	105.9	119.6	123.9	127.6	206.6	245.4	269.3
2000	33.3	48.1	51.7	58.0	63.2	66.9	129.3	137.6	137.8
2001	32.2	50.3	51.1	51.1	51.1	53.2	61.1	77.1	85.4
2002	33.3	49.2	53.2	57.0	58.1	61.3	68.7	74.1	75.9
2003	41.2	68.6	88.8	108.3	128.0	140.3	164.7	165.5	175.4
2004	43.5	52.4	52.7	62.1	68.3	68.9	96.0	141.6	158.8
2005	48.0	53.0	53.0	54.9	55.1	55.1	57.1	60.5	61.4
2006	47.4	63.8	67.7	71.3	74.9	75.0	83.9	83.9	83.9
2007	76.2	136.2	181.3	202.2	207.5	207.5	225.0	225.0	243.7
2008	35.6	47.0	65.1	77.0	87.2	91.7	103.1	105.9	105.9
2009	55.3	60.0	60.0	66.7	72.9	72.9	75.8	119.9	123.2
2010	27.1	45.9	58.4	61.1	67.3	68.9	90.4	102.8	125.1
2011	46.9	80.0	92.5	94.9	96.4	97.8	112.1	114.4	127.2
2012	40.6	71.9	79.0	101.6	128.0	139.3	210.6	227.2	241.7

Table III-4. 계속

-아라

지속시간(분) 년도	지속시간(분)								
	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2002	55.9	95.7	129.6	161.1	183.5	199.6	360.7	456.5	504.0
2003	56.5	93.0	124.5	159.1	181.0	203.1	299.0	356.2	381.4
2004	64.4	97.8	122.9	149.8	168.3	172.7	216.7	233.3	236.7
2005	35.6	62.2	76.4	79.0	79.0	79.0	86.9	114.4	134.2
2006	63.2	120.0	165.3	209.9	238.1	271.0	364.2	366.8	366.8
2007	100.5	164.3	192.1	223.2	260.0	303.9	476.4	486.7	486.7
2008	36.1	51.3	59.4	68.8	73.4	79.5	94.0	94.0	94.0
2009	79.6	98.9	98.9	98.9	98.9	98.9	98.9	98.9	98.9
2010	52.5	85.4	97.6	98.0	102.0	112.9	196.5	230.8	269.8
2011	59.8	104.9	135.3	171.4	207.0	239.1	358.2	417.7	433.2
2012	58.7	109.2	145.1	176.5	212.6	259.8	405.6	540.1	597.0

Table III-4. 계속

-중문

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2002	29.9	39.5	53.2	66.7	77.0	86.6	110.1	119.9	127.1
2003	54.8	88.1	96.1	107.2	121.9	137.8	180.3	182.6	200.5
2004	68.9	83.2	104.8	125.2	148.9	158.5	177.6	216.2	243.8
2005	39.0	47.0	55.3	61.6	67.8	71.9	75.3	75.3	75.3
2006	43.5	53.5	59.9	63.6	72.9	83.6	102.5	110.3	113.2
2007	92.0	136.7	142.6	147.8	160.1	166.1	226.3	227.2	227.2
2008	41.2	41.2	51.1	61.1	68.8	73.4	94.5	94.8	95.2
2009	39.5	58.4	58.9	70.8	79.0	84.1	104.1	109.8	116.6
2010	44.6	51.9	63.5	87.7	102.0	109.9	140.9	151.7	159.8
2011	66.6	106.5	106.5	106.7	108.1	108.4	141.4	149.8	150.0
2012	56.5	82.2	87.3	93.4	105.0	117.0	191.5	258.0	272.9

Table III-4. 계속

-회수

지속시간(분) 년도	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2002	58.1	108.6	139.5	170.9	193.7	215.8	305.1	342.6	370.8
2003	64.4	122.2	160.6	185.8	217.2	240.6	271.8	275.2	288.4
2004	64.9	82.7	82.7	88.8	108.6	128.1	197.0	259.5	308.2
2005	49.7	70.3	87.8	96.0	101.5	103.8	148.5	149.5	149.5
2006	57.6	76.8	93.0	102.6	121.3	142.8	171.8	172.3	172.3
2007	122.5	202.1	269.1	304.3	328.3	339.4	427.4	432.7	432.7
2008	28.8	44.3	62.5	74.9	87.7	96.7	132.4	132.7	133.2
2009	39.5	67.6	90.9	108.8	121.9	133.2	176.3	180.6	180.6
2010	40.1	64.9	78.0	108.8	123.9	138.8	190.9	212.1	214.6
2011	73.4	104.3	110.0	112.4	116.2	118.5	135.4	145.6	156.8
2012	52.5	89.7	95.0	102.6	120.8	131.7	204.1	251.9	300.0

IV. 결과 및 고찰

1. AWS 관측지점별(빈도별, 지속시간별) 확률강우량 산정

1.1 확률분포형 적용 및 매개변수 적합성 검토

AWS 관측지점별 확률강우량을 산정하기 위하여 수문자료의 빈도해석에 사용되는 확률분포형을 적용하였다. FARD2006 모델에서 적용되는 Normal, Gamma-2, Gamma-3, GEV, Gumbel, Log-Gumbel-2, Log-Gumbel-3, Log-normal-2, Log-normal-3, Log-Pearson-3, Weibull-2, Weibull-3, GLO, GPA, Wakeby-4, Wakeby-5 분포형을 적용하였다. 매개변수 추정방법에는 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법이 있으며, 일반적인 국내에서는 모멘트법보다 적은 자료수에 의한 영향을 덜 받으며, 안정적인 극대 강우사상이 포함된 자료 계열에도 큰 왜곡특성이 나타지지 않는 확률가중모멘트법을 추천하고 있다. 우리나라의 경우 모멘트법은 관측년수가 짧아 자료수가 충분하지 못하므로 이상치에 지나치게 민감한 문제점을 지니고 있으며, 최우도법은 수렴 문제와 자료수가 충분하지 못한 경우 효율성이 낮은 문제점을 지니고 있다(정중호와 윤용남, 2007). 따라서 자료수나 이상치에 따른 왜곡특성이 크게 나타나지 않으며, 현재 제주도의 유역종합치수계획 및 하천정비계획 등에서 사용하는 확률가중모멘트법으로 채택하였다.

적용한 확률분포형은 전구간에서 적분하였을 때 1이 되어야 하며, 어느 구간에서의 발생확률은 그 구간에서의 적분값과 같아야 하고, 전구간에서 어느 변수에 대한 확률값이 0과 같거나 커야 한다. 이러한 기본조건을 만족하면서 확률변수와 매개변수에 대한 조건을 전제로 확률분포형을 유도하게 되며, 확률변수의 범위와 확률분포형을 구성하는 매개변수의 조건은 가장 기본적인 요구조건이다.

확률가중모멘트법에 의한 각 확률분포형에 따른 매개변수는 적합성 조건을 만족해야 하며, Table IV-1은 확률가중모멘트법에 의해 추정된 매개변수 적합성

검토결과를 나타내고 있다. 각 관측소별로 지속시간은 60분, 120분, 180분, 240분, 300분, 360분, 720분, 1080분, 1440분으로 검토하였다.

Table IV-1. Parameter conformity review

지속 시간 (min)	가파도												교산																
	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LPP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LPP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	
60	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	X
120	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	X
180	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X
240	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	X
300	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X
360	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	X
720	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X
1080	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	X
1440	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	X

지속 시간 (min)	구좌												남원																
	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LPP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LPP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	
60	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X
120	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X
180	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	X	X	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X
240	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	X	X	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	○	X
300	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	X	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	○	X
360	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	X	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	○	X
720	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	○	X
1080	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	○	X
1440	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X

지속 시간 (min)	마라도												모슬포																
	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LPP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LPP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	
60	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X
120	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X
180	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X
240	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	○	X
300	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X
360	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X
720	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X
1080	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	○	X
1440	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	X

지속시간 (min)	서광												서귀포															
	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA
60	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
120	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
180	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
240	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
300	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
360	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
720	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
1080	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
1440	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X

지속시간 (min)	선홍												성산포															
	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA
60	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
120	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
180	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
240	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
300	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
360	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
720	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	X	○	X
1080	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	X	○	X
1440	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	X	○	X

지속시간 (min)	성판악												아라															
	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA
60	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X
120	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X
180	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X
240	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X
300	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X
360	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X
720	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X
1080	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X
1440	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X

지속시간 (min)	어리목											우도																
	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LPP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LPP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA
60	○	○	○	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
120	○	○	○	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X
180	○	○	○	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X
240	○	○	○	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X
300	○	○	○	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X
360	○	○	○	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X
720	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X
1080	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
1440	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X

지속시간 (min)	윗세오름											유수암																
	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LPP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LPP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA
60	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	X
120	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
180	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
240	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
300	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
360	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
720	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
1080	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
1440	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X

지속시간 (min)	제주											중문																
	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LPP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LPP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA
60	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
120	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
180	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
240	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
300	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
360	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
720	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
1080	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
1440	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X

지속시간 (min)	진달래밭												추자도														
	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	GLO
60	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
120	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X
180	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X
240	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X
300	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
360	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	○	○	X
720	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
1080	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
1440	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X

지속시간 (min)	표선												한림														
	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	GLO
60	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X
120	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
180	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
240	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	X	○	X	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
300	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	X	X	X	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
360	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	X	X	X	○	○	X	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
720	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	X	X	X	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	X	○	X
1080	○	○	X	○	○	○	X	○	X	○	○	X	○	X	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
1440	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X	○	○	○	○	○	X	○	○	X	○	○	○	X

지속시간 (min)	회수													
	NOR	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	GLO	GPA
60	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
120	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
180	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	X	○	X
240	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	X	○	X
300	○	○	X	○	○	○	X	○	X	X	○	X	○	X
360	○	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X
720	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
1080	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X
1440	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○	X

확률분포형에 따른 확률가중모멘트법에 의한 매개변수 적합성 검토 결과 Normal 분포형, GammaII 분포형, GEV 분포형, Gumbel 분포형, Log-GumbelII 분포형, LognormalII 분포형, WeibullII 분포형 등 7개의 확률분포형이 적합성을 만족하는 것으로 분석되었다(Table IV-1).

1.2 적합도 검정

AWS 각 지점에서 관측한 강우량자료가 적합성을 만족하는 7개의 이론 확률 분포형과 적합하다는 것을 검정하기 위하여 확률분포형의 적합도 검정을 실시하고 이를 토대로 최적 확률 분포형을 선정하여야 한다. 적합도의 검정은 그 확률 분포의 상대도수함수와 누가도수함수의 이론값과 표본값을 비교하여 그 정도를 판별하게 된다.

적합도 검정에는 χ^2 -검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer Von Mises 검정, PPCC(Probability Plot Correlation Coefficient) 검정 등을 추가로 적용하여 최적 확률분포형 선정의 신뢰도를 제고하는 것이 필요하다. FARD 2006 프로그램을 이용하여 적합성을 만족한 7개 이론 확률분포형에 대해 매개변수 적합도 검정을 수행하였다. 4개의 적합도 검정방법을 적용한 결과 Normal 분포 기각수 73, GammaII 분포 기각수 38, GEV 분포 기각수 89, Gumbel 분포 기각수 4, Log-GumbelII 분포 기각수 78, LognormalII 분포 기각수 56, WeibullII 분포 기각수 56으로 각각 나타났으며, Gumbel 분포형이 다른 분포형에 비하여 가장 적합한 것으로 분석되었다(Table IV-2).

실제 23개의 관측소별 또는 강우지속기간별 적합도 검정 결과에서 최적 확률 분포형이 다르게 나타나는 경우 최적 확률분포형을 각각 달리 채택하는 것도 가능하다 가급적 일치시키는 것이 합리적이다(정중호와 윤용남, 2008). 따라서 본 연구에서는 성판악과 회수 관측소에서 최적확률분포형이 다르게 나타났으나, Gumbel 분포형으로 통일시켜 적용하였다.

한국 확률강우량도 작성(2000, 건교부)에서는 관측소별 최적 확률분포형은 Gumbel 분포형 55개소, GEV 분포형 13개소로 두 종류로 나타났으나 다른 확률 분포형 채택에 따른 인접 지역간의 불연속 방지 등을 고려하여 모든 관측소를 Gumbel 분포로 통일하여 채택하였다.

Table IV-2. Distribution-specific frequency of rejection after parameter conformity review

확률분포형 \ 관측지점	NOR	GAM2	GEV	GUM	LGU2	LN2	WBU2
가과도	2	1	4	0	4	2	0
고산	0	0	0	0	1	0	0
구좌	10	6	9	1	1	7	10
남원	8	0	6	0	0	4	4
마라도	0	0	0	0	3	0	0
모슬포	4	2	6	0	0	5	4
서광	0	1	1	0	4	1	0
서귀포	13	1	3	0	0	9	6
선홍	2	1	4	0	2	2	3
성산포	3	2	1	0	8	1	3
성판악	0	0	0	1	5	3	2
아라	0	2	3	0	8	0	0
어리목	0	6	3	0	9	0	0
우도	1	4	7	0	9	1	1
윗세오름	0	7	9	0	9	0	1
유수암	0	0	0	0	4	0	0
제주	10	0	3	0	3	6	0
중문	0	0	0	0	0	0	0
진달래밭	0	0	0	0	0	0	0
추자도	0	3	5	0	6	0	0
표선	12	2	12	1	1	9	12
한림	3	0	6	0	0	2	2
회수	5	0	7	1	1	4	8
합계	73	38	89	4	78	56	56

1.3 관측지점별 확률강우량 산정

1.3.1 확률강우량 산정

강우현상은 기상, 지형적인 자연요소에 의해 시시각각 변화하기 때문에 이를 정확하게 예측하기는 매우 어려우며 수문학적으로 이용되는 강우의 해석은 과거 해당지점의 관측 자료를 근거로 하는 통계학적 기법이 대부분을 차지하고 있다. 타당한 규모의 확률강우량을 선정하여 설계홍수량을 결정하고, 하도, 홍수조절지 등 다양한 하천의 수고구조물들을 계획한다.

본 연구에서는 제주기상청 AWS 관측지점 23개소의 강우량자료를 수집하여 지속시간별 강우 시계열 자료를 구축하였다. 16개의 확률분포형을 적용하여 매개변수 적합성검토를 수행하였으며, 4개의 검정방법을 이용하여 최종적으로 Gumbel 분포형을 채택하였다. 산정된 확률강우량 및 확률강도를 실무에서 효율적으로 활용하기 위하여 하천설계기준(2009, Table IV-3)에서 제시하는 주요 수공구조물의 설계빈도를 반영할 수 있는 재현기간을 채택하였다.

Table IV-3. Hydraulic structure design frequency(river design standard and commentation, 2009)

수공구조물 종류	설계빈도(년)
배수시설	2~50
배수로	20 이상
방수로	20 이상
배수제	20 이상
배수문	20 이상
배수펌프	20 이상
유수지 및 저류지	20 이상
하천제방	
국가하천	100~200
지방하천	50~100
홍수방어(조절)용	
저수지	50~SPF(표준설계홍수량)
여수로	PMP(가능최대홍수량)
제방	10~SPF(표준설계홍수량)

9개의 지속시간(0분, 120분, 180분, 240분, 300분, 360분, 720분, 1080분, 1440분), 9개의 재현기간(2년, 5년, 10년, 20년, 30년, 50년, 80년, 100년, 200년)에 대하여

AWS 관측지점별 확률강우량을 산정한 결과는 Table IV-4와 같다.

Table IV-4. Observing point-specific probable precipitation calculation

-가파도

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	39.4	50.5	56.2	62.9	68.5	73.8	96.4	106.8	114.1
5	49.6	61.7	70.1	79.1	87.4	96.1	130.7	148.0	156.7
10	56.4	69.2	79.3	89.8	99.9	110.9	153.4	175.3	184.9
20	62.9	76.3	88.1	100.0	111.9	125.0	175.1	201.5	211.9
30	66.7	80.4	93.2	105.9	118.8	133.2	187.6	216.6	227.5
50	71.3	85.5	99.6	113.3	127.4	143.3	203.3	235.4	246.9
80	75.6	90.2	105.4	120.1	135.3	152.6	217.6	252.6	264.7
100	77.6	92.4	108.1	123.3	139.1	157.1	224.4	260.8	273.1
200	83.9	99.3	116.6	133.2	150.7	170.7	245.4	286.1	299.3

Table IV-4. 계속

-고산

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	38.2	51.5	59.0	68.8	75.4	80.4	100.4	111.2	121.3
5	48.5	66.7	76.3	87.7	96.8	105.8	140.3	156.2	174.5
10	55.3	76.8	87.7	100.2	111.0	122.7	166.7	186.0	209.8
20	61.9	86.5	98.6	112.1	124.6	138.9	192.1	214.6	243.6
30	65.6	92.0	104.9	119.0	132.4	148.2	206.6	231.0	263.0
50	70.3	99.0	112.8	127.6	142.2	159.8	224.9	251.6	287.3
80	74.6	105.3	120.0	135.5	151.1	170.4	241.5	270.4	309.6
100	76.7	108.3	123.4	139.2	155.4	175.5	249.4	279.4	320.1
200	83.0	117.7	134.0	150.8	168.5	191.1	273.9	307.0	352.8

Table IV-4. 계속

-구좌

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	51.9	69.5	85.3	94.4	102.8	112.2	140.9	153.3	167.3
5	73.2	97.0	121.0	133.0	143.6	153.8	192.6	208.3	227.1
10	87.2	115.2	144.7	158.5	170.7	181.4	226.9	244.7	266.6
20	100.7	132.7	167.3	183.0	196.6	207.8	259.8	279.7	304.6
30	108.5	142.8	180.4	197.1	211.5	223.0	278.7	299.8	326.4
50	118.2	155.3	196.7	214.7	230.2	242.0	302.4	324.9	353.7
80	127.0	166.8	211.6	230.8	247.3	259.4	324.0	347.9	378.6
100	131.3	172.3	218.6	238.5	255.3	267.7	334.3	358.8	390.5
200	144.3	189.2	240.5	262.1	280.4	293.2	366.1	392.5	427.1

Table IV-4. 계속

-남원

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	50.3	71.1	79.9	91.0	99.4	109.0	140.0	157.6	170.9
5	69.6	99.4	114.2	130.6	139.2	149.0	191.5	208.9	227.1
10	82.5	118.1	136.9	156.9	165.6	175.4	225.7	242.8	264.3
20	94.8	136.1	158.7	182.0	190.9	200.8	258.4	275.4	300.0
30	101.9	146.4	171.2	196.5	205.4	215.4	277.2	294.1	320.5
50	110.7	159.4	186.9	214.6	223.6	233.7	300.8	317.5	346.2
80	118.8	171.2	201.2	231.2	240.3	250.4	322.3	338.9	369.7
100	122.7	176.8	208.0	239.0	248.1	258.3	332.6	349.1	380.8
200	134.6	194.1	229.1	263.4	272.6	282.8	364.2	380.6	415.3

Table IV-4. 계속

-마라도

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	45.3	59.7	70.4	78.7	85.1	91.6	117.6	129.2	138.1
5	68.2	83.8	97.4	110.9	119.6	127.5	170.4	193.8	205.0
10	83.4	99.8	115.2	132.1	142.5	151.2	205.4	236.6	249.3
20	98.0	115.1	132.3	152.6	164.4	174.0	238.9	277.7	291.8
30	106.4	124.0	142.2	164.3	177.1	187.1	258.2	301.3	316.2
50	116.9	135.0	154.5	179.0	192.8	203.4	282.4	330.8	346.8
80	126.5	145.1	165.7	192.4	207.3	218.4	304.4	357.8	374.8
100	131.0	149.8	171.1	198.8	214.1	225.5	314.9	370.6	388.0
200	145.1	164.6	187.6	218.5	235.3	247.5	347.3	410.3	429.1

Table IV-4. 계속

-모슬포

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	41.2	61.3	70.6	78.6	84.7	87.6	110.3	123.9	132.4
5	52.0	80.5	98.1	111.5	121.5	126.1	164.1	180.3	194.5
10	59.1	93.1	116.3	133.2	145.8	151.6	199.8	217.7	235.6
20	65.9	105.3	133.8	154.1	169.2	176.0	233.9	253.6	275
30	69.8	112.3	143.8	166.1	182.6	190.1	253.6	274.2	297.7
50	74.7	121.1	156.4	181.2	199.4	207.7	278.2	300.0	326
80	79.2	129.1	167.9	194.9	214.8	223.8	300.7	323.6	352
100	81.3	132.9	173.3	201.4	222.1	231.4	311.4	334.8	364.3
200	87.9	144.6	190.2	221.6	244.6	255.0	344.4	369.4	402.4

Table IV-4. 계속

-서광

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	39.5	59.3	69.9	78.3	85.0	90.9	121.9	136.0	145.3
5	53.6	80.5	95.2	106.6	114.9	122.8	171.9	192.6	205.5
10	63.0	94.5	112.0	125.3	134.7	143.9	205.0	230.0	245.3
20	72.0	108.0	128.1	143.2	153.7	164.2	236.8	265.9	283.5
30	77.1	115.7	137.3	153.6	164.6	175.9	255.0	286.6	305.5
50	83.6	125.4	148.9	166.5	178.2	190.4	277.9	312.4	332.9
80	89.5	134.2	159.5	178.3	190.7	203.8	298.8	336.1	358.1
100	92.3	138.4	164.5	183.9	196.6	210.1	308.7	347.3	370.0
200	100.9	151.4	180.0	201.2	215.0	229.7	339.4	382.0	406.9

Table IV-4. 계속

-서귀포

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	46.1	64.6	77.3	89.6	98.2	105.3	136.6	152.3	165.3
5	59.5	83.0	101.0	117.6	128.7	138.6	182.9	208.1	227.6
10	68.3	95.1	116.7	136.0	148.9	160.6	213.5	245.0	268.8
20	76.8	106.7	131.7	153.8	168.2	181.7	242.9	280.5	308.3
30	81.7	113.4	140.4	164.0	179.3	193.8	259.8	300.9	331.1
50	87.8	121.8	151.2	176.7	193.3	209.0	280.9	326.4	359.5
80	93.4	129.5	161.1	188.4	206.0	222.9	300.2	349.7	385.5
100	96.1	133.1	165.8	193.9	212.0	229.5	309.4	360.8	397.8
200	104.3	144.3	180.3	211.1	230.7	249.9	337.8	395.0	436.0

Table IV-4. 계속

-선홍

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	39.9	59.8	71.5	81.0	88.4	95.6	133.2	153.1	164.4
5	54.5	82.0	99.9	114.6	125.2	137.0	204.8	241.5	259.3
10	64.1	96.7	118.8	136.8	149.6	164.4	252.2	300.1	322.1
20	73.4	110.8	136.8	158.1	173.0	190.8	297.7	356.3	382.4
30	78.7	118.9	147.2	170.4	186.4	205.9	323.9	388.6	417.1
50	85.3	129.0	160.2	185.7	203.2	224.8	356.6	429.0	460.4
80	91.4	138.3	172.0	199.8	218.6	242.2	386.5	466.0	500.1
100	94.3	142.7	177.7	206.4	225.9	250.4	400.7	483.5	518.9
200	103.2	156.3	195.1	227.0	248.5	275.8	444.6	537.8	577.1

Table IV-4. 계속

-성산포

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	58.8	77.3	88.6	100.6	107.6	114.0	145.3	159.9	171.1
5	81.5	106.1	121.9	139.8	147.6	155.1	197.1	215.2	232.2
10	96.5	125.2	143.9	165.7	174.2	182.3	231.4	251.9	272.6
20	110.9	143.6	165.0	190.6	199.6	208.4	264.3	287.0	311.4
30	119.2	154.1	177.2	204.9	214.2	223.4	283.2	307.3	333.7
50	129.6	167.3	192.4	222.8	232.5	242.2	306.9	332.5	361.6
80	139.0	179.3	206.3	239.1	249.3	259.3	328.5	355.7	387.2
100	143.5	185.0	212.9	246.9	257.2	267.5	338.8	366.6	399.3
200	157.4	202.8	233.3	270.9	281.8	292.7	370.5	400.6	436.7

Table IV-4. 계속

-성판악

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	64.5	97.9	120.6	139.5	156.7	166.5	231.8	264.1	290.3
5	83.2	135.4	174.6	203.3	229.1	247.4	363.8	412.7	446.4
10	95.6	160.3	210.4	245.6	277.1	300.9	451.2	511.1	549.7
20	107.5	184.1	244.7	286.2	323.1	352.3	535.0	605.5	648.9
30	114.3	197.8	264.5	309.5	349.5	381.8	583.2	659.8	705.9
50	122.9	215.0	289.1	338.7	382.6	418.7	643.5	727.6	777.2
80	130.7	230.7	311.7	365.4	412.9	452.5	698.7	789.8	842.4
100	134.4	238.1	322.4	378.0	427.3	468.6	724.8	819.2	873.3
200	145.9	261.2	355.6	417.2	471.7	518.2	805.8	910.4	969.1

Table IV-4. 계속

-아라

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	57.2	93.5	115.6	135.7	152.2	168.9	244.2	279.3	296.0
5	73.6	120.1	152.5	185.9	215.7	247.9	376.8	437.3	465.4
10	84.5	137.7	177.0	219.1	257.7	300.1	464.5	542.0	577.6
20	94.9	154.6	200.4	251.0	298.0	350.3	548.7	642.3	685.1
30	100.9	164.3	213.9	269.3	321.2	379.1	597.2	700.1	747.0
50	108.4	176.4	230.7	292.2	350.2	415.2	657.7	772.2	824.4
80	115.3	187.5	246.1	313.2	376.8	448.2	713.2	838.3	895.2
100	118.5	192.8	253.5	323.1	389.4	463.8	739.4	869.6	928.7
200	128.6	209.1	276.1	353.9	428.3	512.3	820.8	966.6	1032.7

Table IV-4. 계속

-어리목

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	58.9	87.6	109.8	134.0	154.2	173.1	246.4	279.5	309.5
5	74.0	119.6	157.0	197.7	230.6	264.1	397.9	457.0	502.8
10	84.0	140.8	188.3	239.8	281.3	324.4	498.2	574.5	630.8
20	93.6	161.1	218.3	280.3	329.8	382.1	594.4	687.3	753.6
30	99.1	172.8	235.5	303.5	357.8	415.4	649.7	752.1	824.2
50	106.0	187.4	257.1	332.6	392.7	456.9	718.9	833.2	912.4
80	112.4	200.7	276.8	359.2	424.7	495.0	782.2	907.4	993.2
100	115.4	207.1	286.2	371.8	439.8	513.0	812.2	942.6	1031.5
200	124.6	226.7	315.1	410.9	486.8	568.8	905.2	1051.5	1150.1

Table IV-4. 계속

-우도

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	51.9	68.6	83.8	92.2	97.9	104.2	126.1	136.9	147.0
5	73.7	92.3	110.2	121.3	127.7	135.1	167.8	186.1	206.2
10	88.1	108.0	127.7	140.5	147.4	155.5	195.5	218.6	245.5
20	101.9	123.1	144.5	159.0	166.3	175.1	222.0	249.8	283.1
30	109.9	131.8	154.1	169.7	177.2	186.4	237.2	267.8	304.7
50	119.9	142.6	166.2	182.9	190.8	200.5	256.3	290.2	331.8
80	129.0	152.5	177.3	195.1	203.3	213.5	273.7	310.8	356.5
100	133.3	157.2	182.5	200.9	209.2	219.6	282.0	320.5	368.3
200	146.7	171.8	198.7	218.7	227.5	238.5	307.6	350.7	404.6

Table IV-4. 계속

-윗세오름

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	84.4	143.0	189.7	231.1	263.2	292.0	435.5	482.2	511.1
5	116.4	196.2	255.4	307.7	348.4	382.7	573.0	654.7	730.5
10	137.6	231.4	299.0	358.4	404.8	442.8	664.0	768.9	875.7
20	157.9	265.2	340.7	407.0	458.9	500.3	751.3	878.4	1015.0
30	169.6	284.6	364.8	435.0	490.0	533.5	801.5	941.4	1095.2
50	184.2	308.9	394.8	469.9	528.9	574.9	864.2	1020.2	1195.3
80	197.6	331.1	422.3	502.0	564.6	612.8	921.7	1092.3	1287.0
100	204.0	341.7	435.3	517.1	581.4	630.8	948.9	1126.4	1330.5
200	223.6	374.3	475.7	564.1	633.7	686.4	1033.3	1232.3	1465.1

Table IV-4. 계속

-유수암

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	51.3	76.0	87.0	94.5	102.5	111.5	152.2	170.7	184.5
5	69.4	104.1	121.2	135.5	152.0	170.3	249.8	277.3	291.8
10	81.3	122.7	143.9	162.7	184.8	209.2	314.3	347.9	362.9
20	92.8	140.5	165.6	188.7	216.3	246.5	376.3	415.7	431.0
30	99.4	150.8	178.1	203.7	234.4	267.9	411.9	454.6	470.2
50	107.6	163.6	193.8	222.5	257.1	294.8	456.5	503.4	519.2
80	115.2	175.4	208.1	239.6	277.8	319.4	497.2	548.0	564.1
100	118.8	180.9	214.9	247.7	287.6	331.0	516.6	569.1	585.3
200	129.9	198.2	235.9	272.9	318.0	367.1	576.4	634.5	651.2

Table IV-4. 계속

-제주

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	40.9	59.5	71.2	82.8	92.1	99.6	135.0	151.1	161.4
5	56.3	83.5	101.0	117.8	132.7	143.7	198.2	223.2	238.9
10	66.5	99.4	120.8	141.1	159.7	172.8	240.0	270.9	290.3
20	76.2	114.7	139.7	163.4	185.5	200.8	280.2	316.6	339.5
30	81.9	123.4	150.6	176.2	200.3	216.9	303.2	343.0	367.8
50	88.9	134.4	164.2	192.2	218.9	237.0	332.1	375.9	403.2
80	95.3	144.4	176.7	206.9	235.9	255.4	358.5	406.0	435.6
100	98.3	149.2	182.6	213.8	244.0	264.1	371.0	420.3	451.0
200	107.8	163.9	200.9	235.4	268.9	291.1	409.8	464.5	498.5

Table IV-4. 계속

-중문

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	49.3	66.3	74.8	85.1	95.4	103.0	131.8	143.4	150.2
5	65.8	94.9	102.2	112.5	125.7	134.6	178.0	201.1	213.4
10	76.7	113.9	120.3	130.6	145.7	155.5	208.6	239.2	255.2
20	87.1	132.0	137.7	148.0	164.9	175.6	238.0	275.8	295.3
30	93.1	142.5	147.7	158.0	175.9	187.1	254.9	296.9	318.4
50	100.6	155.6	160.2	170.5	189.7	201.6	276.0	323.2	347.3
80	107.5	167.5	171.7	182.0	202.3	214.8	295.3	347.3	373.7
100	110.8	173.2	177.1	187.4	208.3	221.0	304.4	358.7	386.2
200	120.9	190.7	193.9	204.2	226.9	240.4	332.8	394.0	425.0

Table IV-4. 계속

-진달래밭

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	70.2	114.6	150.2	181.9	215.1	240.5	341.2	378.4	405.6
5	93.5	153.6	203.7	252.7	299.9	337.2	472.8	537.2	586.5
10	109.0	179.5	239.1	299.6	356.0	401.3	559.9	642.3	706.2
20	123.9	204.2	273.1	344.5	409.9	462.7	643.5	743.1	821.1
30	132.4	218.5	292.7	370.3	440.8	498.1	691.6	801.1	887.1
50	143.1	236.3	317.1	402.7	479.6	542.3	751.7	873.7	969.7
80	152.8	252.6	339.5	432.2	515.0	582.7	806.8	940.0	1045.3
100	157.5	260.4	350.1	446.3	531.8	601.9	832.8	971.5	1081.1
200	171.8	284.3	382.9	489.7	583.8	661.2	913.6	1068.9	1192.2

Table IV-4. 계속

-추자도

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	41.6	56.8	67.8	75.0	83.1	92.0	121.3	138.0	146.5
5	55.4	70.3	82.1	91.3	103.9	116.1	164.1	187.8	202.1
10	64.5	79.3	91.6	102.0	117.7	132.0	192.4	220.8	238.9
20	73.2	87.8	100.7	112.4	130.9	147.3	219.6	252.5	274.2
30	78.3	92.8	106.0	118.3	138.5	156.1	235.2	270.6	294.5
50	84.6	98.9	112.5	125.8	148.0	167.1	254.8	293.4	319.9
80	90.3	104.6	118.5	132.6	156.7	177.2	272.6	314.2	343.2
100	93.0	107.2	121.3	135.8	160.8	181.9	281.1	324.1	354.2
200	101.5	115.5	130.1	145.8	173.6	196.7	307.4	354.6	388.3

Table IV-4. 계속

-표선

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	59.7	87.5	104.8	116.7	127.1	135.8	162.4	174.0	194.2
5	87.8	134.5	164.8	183.7	203.7	219.4	257.2	274.2	298.0
10	106.5	165.7	204.6	228.0	254.5	274.7	320.0	340.6	366.7
20	124.3	195.5	242.7	270.6	303.1	327.8	380.2	404.3	432.6
30	134.6	212.7	264.6	295.0	331.1	358.3	414.8	440.9	470.5
50	147.5	234.1	292.1	325.6	366.1	396.5	458.1	486.7	517.9
80	159.2	253.8	317.2	353.6	398.2	431.4	497.8	528.6	561.3
100	164.8	263.1	329.0	366.9	413.3	448.0	516.5	548.5	581.8
200	182.1	292.0	365.9	408.0	460.4	499.3	574.7	610.0	645.5

Table IV-4. 계속

- 한림

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	36.3	51.7	62.8	70.4	78.2	84.6	107.4	118.0	125.7
5	49.5	72.0	94.3	109.1	123.2	134.5	169.3	181.8	188.4
10	58.2	85.5	115.1	134.7	153.0	167.5	210.3	224.1	230.0
20	66.5	98.3	135.1	159.3	181.6	199.1	249.7	264.6	269.8
30	71.4	105.8	146.6	173.4	198.1	217.4	272.3	287.9	292.7
50	77.4	115.0	161.0	191.1	218.6	240.1	300.6	317.1	321.4
80	82.9	123.5	174.2	207.3	237.5	261.0	326.5	343.8	347.6
100	85.5	127.5	180.4	214.9	246.4	270.8	338.7	356.4	360.0
200	93.6	140.0	199.7	238.7	274.0	301.4	376.7	395.6	398.6

Table IV-4. 계속

- 회수

지속시간(분) 재현기간(년)	60	120	180	240	300	360	720	1080	1440
2	55.3	87.2	106.6	122.5	138.5	151.1	200.2	216.2	228.4
5	76.5	123.5	153.7	175.6	196.1	213.2	277.7	302.7	323.6
10	90.5	147.6	184.8	210.7	234.3	254.3	329.1	360.0	386.6
20	104.0	170.7	214.7	244.4	270.8	293.8	378.4	415.0	447.0
30	111.8	184.0	231.9	263.8	291.9	316.4	406.7	446.6	481.8
50	121.4	200.6	253.4	288.0	318.2	344.8	442.1	486.1	525.2
80	130.3	215.8	273.0	310.2	342.3	370.8	474.5	522.3	565
100	134.5	223.0	282.4	320.7	353.7	383.0	489.9	539.5	583.9
200	147.5	245.3	311.2	353.3	389.1	421.2	537.5	592.6	642.3

1.3.2 제주도 남·북부지역의 고도-확률강우량 상관관계 분석

제주도의 하천은 한라산을 중심으로 남·북사면으로 발달해 있으므로 4개 기상대(제주, 서귀포, 고산, 성산)의 티센유역망을 작성하고 각 지역범위에 포함되는 관측소를 선정하여 남·북부지역의 고도-확률강우량 상관관계를 검토하였다.

가. 북부지역

제주도 북부지역에는 제주, 아라, 유수암, 어리목, 성판악, 윗세오름, 진달래밭 관측소를 대상으로 지속시간 60분과 1440분에 대하여 재현기간별 분포와 재현기간 100년에 대한 지속시간별 분포를 각각 검토하였다.

북부지역의 재현기간별 지속시간 60분의 확률강우량을 분석한 결과 최소

40.9mm(제주관측소 2년 빈도) ~ 최대 223.6mm(윗세오름관측소 200년 빈도)으로 산정되었다. 고도-확률강우량을 분석한 결과 R^2 (R squared, coefficient of determination)가 0.78~0.87 범위로 나타났으며, 재현기간이 짧을수록 R^2 가 높은 것으로 분석되었다(Fig. IV-1).

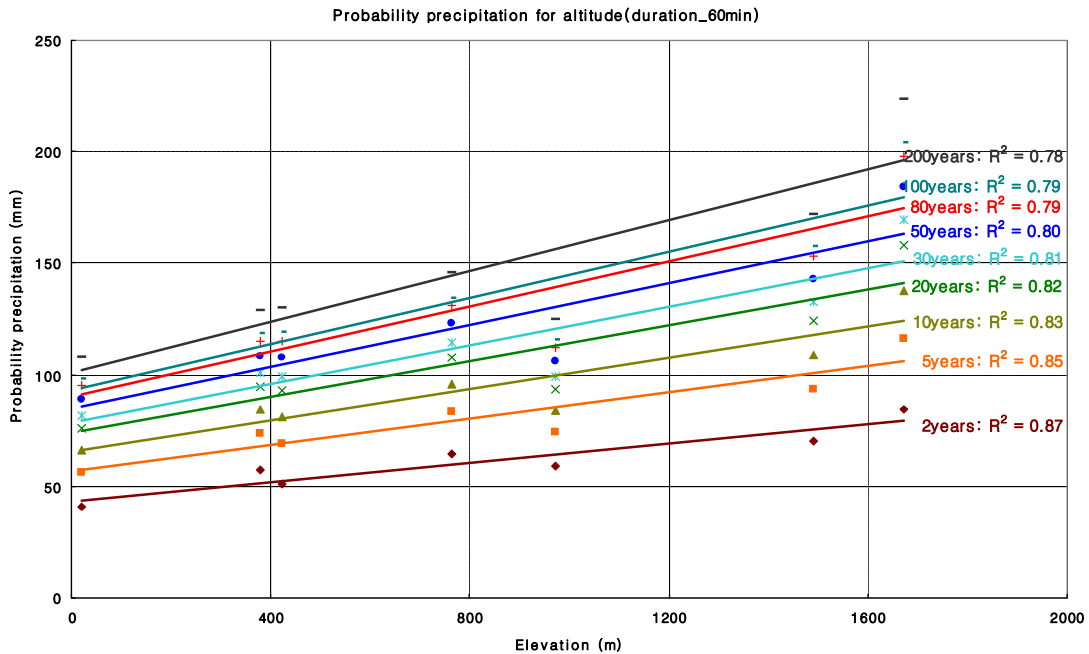


Fig. IV-1. Return period-specific elevation-probable rainfall (Northern_duration time 60 min.)

북부지역의 지속시간 60분에 대한 재현기간별 1차회귀식은 Table IV-5와 같다. 재현기간 2년일 때 1차회귀식은 $P=0.0215h+43.486$, 기울기는 0.02로 가장 낮고, 200년일 때 1차회귀식은 $P=0.0569h+100.98$, 기울기는 0.06으로 가장 높았으며 재현기간이 증가할수록 1차회귀식의 기울기는 높아지는 것으로 나타났다. 여기서 P 는 제주도 북부지역의 지속시간 60분 확률강우량(mm)이며, h 는 고도(mm)이다.

Table IV-5. Return period-specific elevation-probable rainfall 1st linear regression equation(Northern_duration time 60min)

재현기간(년)	회귀식(1차)	결정계수(R^2)
2	$P=0.0215h+43.486$	0.8745
5	$P=0.0296h+56.721$	0.8510
10	$P=0.035h+65.467$	0.8317
20	$P=0.0402h+73.831$	0.8158
30	$P=0.0431h+78.691$	0.8067
50	$P=0.0469h+84.711$	0.7975
80	$P=0.0503h+90.255$	0.7896
100	$P=0.052h+92.824$	0.7868
200	$P=0.0569h+100.98$	0.7764

P : 지속시간 60분 확률강우량(mm), h : 고도(m)

1차회귀식 적용고도: $20m \leq h \leq 1673m$

북부지역의 재현기간별 지속시간 1440분의 확률강우량을 분석한 결과 최소 161.4mm(제주관측소 2년 빈도) ~ 최대 1,465.1mm(윗세오름관측소 200년 빈도)으로 산정되었다. 고도-확률강우량을 분석한 결과 R^2 가 0.87~0.81 범위로 나타났다(Fig. IV-2).

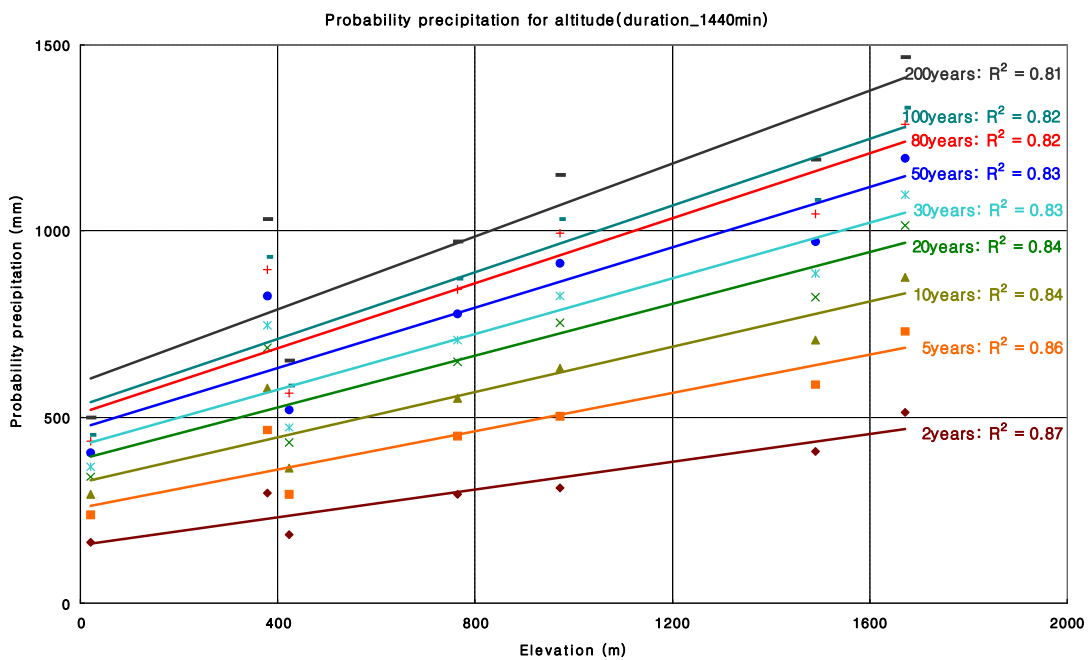


Fig. IV-2. Return period-specific elevation-probable rainfall (Northern_duration time 1440 min.)

Table IV-6. Return period-specific elevation-probable rainfall 1st linear regression equation(Northern_duration time 1440min)

재현기간(년)	회귀식(1차)	결정계수(R^2)
2	$P=0.1875h+155.19$	0.8770
5	$P=0.257h+256.06$	0.8627
10	$P=0.303h+322.92$	0.8494
20	$P=0.3472h+386.95$	0.8379
30	$P=0.3726h+423.79$	0.8318
50	$P=0.4043h+469.89$	0.8249
80	$P=0.4334h+512.06$	0.8192
100	$P=0.4472h+532.02$	0.8167
200	$P=0.4899h+593.92$	0.8096

P 지속시간 60분 확률강우량(mm), h 고도(m)
1차회귀식 적용고도: $20m \leq h \leq 1673m$

지속시간 1440분에 대한 재현기간별 1차회귀식은 Table IV-6과 같다. 재현기간 2년일 때 1차회귀식은 $P=0.1875h+155.19$, 기울기는 0.19로 가장 낮고, 200년일 때 1차회귀식은 $P=0.4899h+593.92$, 기울기는 0.49로 가장 높았으며 재현기간이 증가할수록 1차회귀식의 기울기는 높아지는 것으로 분석되었다.

북부지역의 재현기간 100년에 대한 9개 지속시간별 고도-확률강우량 상관도는 Fig. IV-3과 같으며, R^2 은 0.78 ~0.92의 분포를 보였다. 지속시간 240분과 300분에서 가장 높은 R^2 값(0.92)을 보이고 있으며, 지속시간 720분과 1080분에서 가장 낮은 R^2 값(0.78)을 보이는 것으로 나타났다.

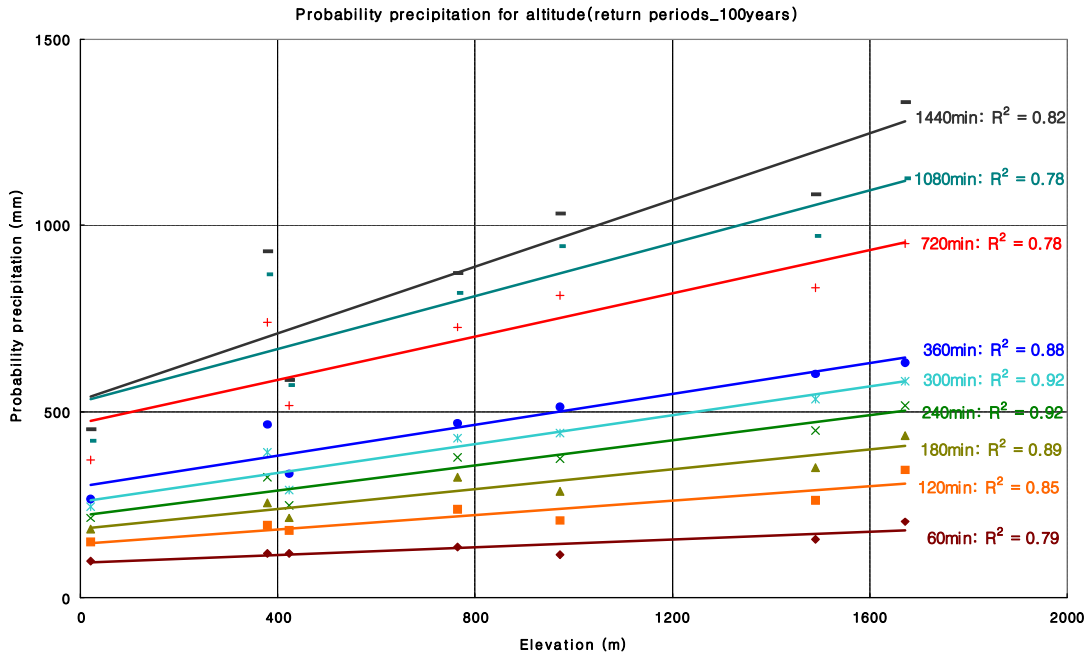


Fig. IV-3. Duration time-specific elevation-probable rainfall
(Northern_recurrence interval 100 years)

나. 남부지역

제주도 남부지역에는 서귀포, 회수, 중문, 남원, 윗세오름, 진달래밭 관측소를 대상으로 지속시간 60분과 1440분에 대하여 재현기간별 분포와 재현기간 100년에 대한 지속시간별 분포를 각각 검토하였다. 고도-확률강우량 상관관계를 검토하기 위하여 한라산 정상부의 윗세오름과 진달래밭 관측소는 각각 포함하였다.

남부지역의 재현기간별 지속시간 60분의 확률강우량을 분석한 결과 최소 46.1mm(서귀포관측소 2년 빈도) ~ 최대 223.6mm(윗세오름관측소 200년 빈도)으로 산정되었다. 고도-확률강우량을 분석한 결과 R^2 가 0.81~0.93 범위로 나타났다. 재현기간이 짧을수록 R^2 가 높은 것으로 분석되었다(Fig. IV-4).

남부지역 관측소의 고도는 서귀포 50m, 회수 226m, 중문 63m, 남원 19m로 북부지역(제주 20m, 아라 379m, 유수암 422m, 어리목 972m)에 비하여 제주 산간 지역(진달래밭 1,490m, 윗세오름 1,673m)을 제외하면 고도별로 강우량 관측소가 분포되지 않고 200m 이하에 대부분 위치하여 있다. 본 연구에서는 고도 250m ~ 1,400m 지역 관측 자료 없이 회귀식을 산정하였으나, 향후에는 이러한 부분도 검토되어야 할 것으로 판단된다.

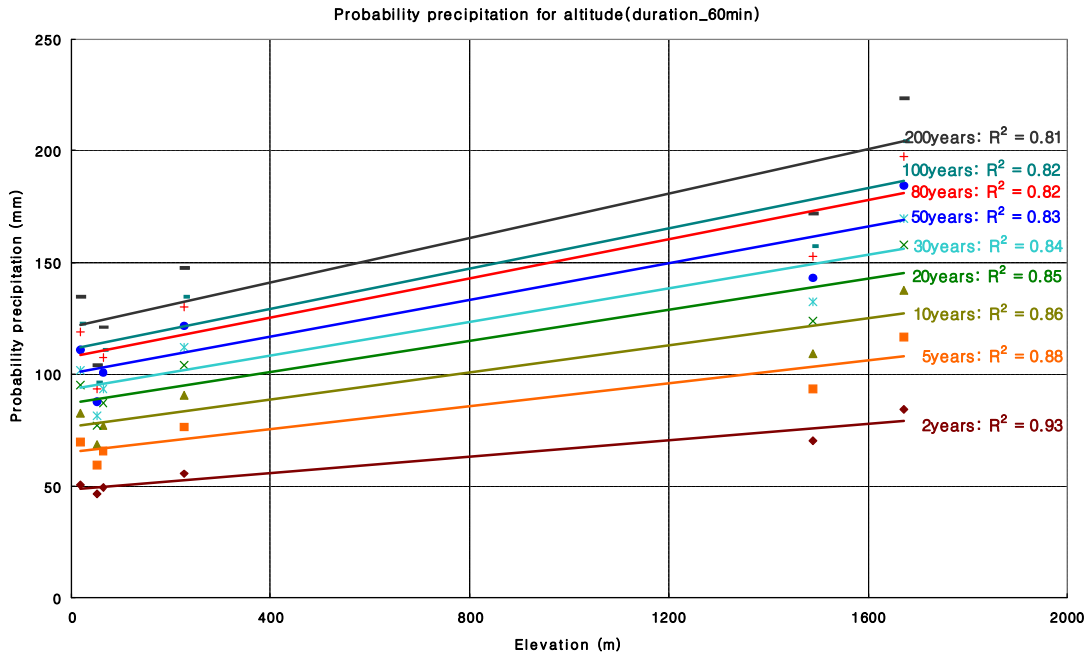


Fig. IV-4. Return period-specific elevation-probable rainfall (Southern_duration time 60 min.)

남부지역의 지속시간 60분에 대한 재현기간별 1차회귀식은 Table IV-7과 같다. 재현기간 2년일 때 1차회귀식은 $P=0.0186h+48.354$, 기울기는 0.02로 가장 낮고, 200년일 때 1차회귀식은 $P=0.0495h+121.4$, 기울기는 0.05으로 가장 높았으며 재현기간이 증가할수록 1차회귀식의 기울기는 높아지는 것으로 나타났다.

Table IV-7. Return period-specific elevation-probable rainfall 1st linear regression equation(Southern_duration time 60min)

재현기간(년)	회귀식(1차)	결정계수 (R^2)
2	$P=0.0186h+48.354$	0.9295
5	$P=0.0257h+65.142$	0.8833
10	$P=0.0304h+76.254$	0.8620
20	$P=0.0349h+86.912$	0.8467
30	$P=0.0375h+93.065$	0.8386
50	$P=0.0408h+100.69$	0.8312
80	$P=0.0437h+107.73$	0.8240
100	$P=0.0452h+111.09$	0.8215
200	$P=0.0495h+121.4$	0.8136

P 지속시간 60분 확률강우량(mm), h 고도(m)

1차회귀식 적용고도: $19m \leq h \leq 1673m$

남부지역의 재현기간별 지속시간 1440분의 확률강우량을 분석한 결과 최소 150.2mm(중문관측소 2년 빈도) ~ 최대 1,465.1mm(윗세오름관측소 200년 빈도)으로 산정되었다. 고도-확률강우량을 분석한 결과 R^2 가 0.94~0.97 범위로 나타났다(Fig. IV-5), 이전 결과(북부지역 지속시간 60분, 1440분, 남부지역 지속시간 60분)와 비교하여 R^2 가 가장 높게 산정되었다. 이러한 결과는 북부지역에 비하여 중간고도(250m ~1,400m)의 강우량 관측소가 존재하지 않고, 남부지역 지속시간 60분에 비하여 확률강우량이 크게 산정되어 확률강우량의 증감에 영향을 크게 받지 않기 때문이라고 판단된다.

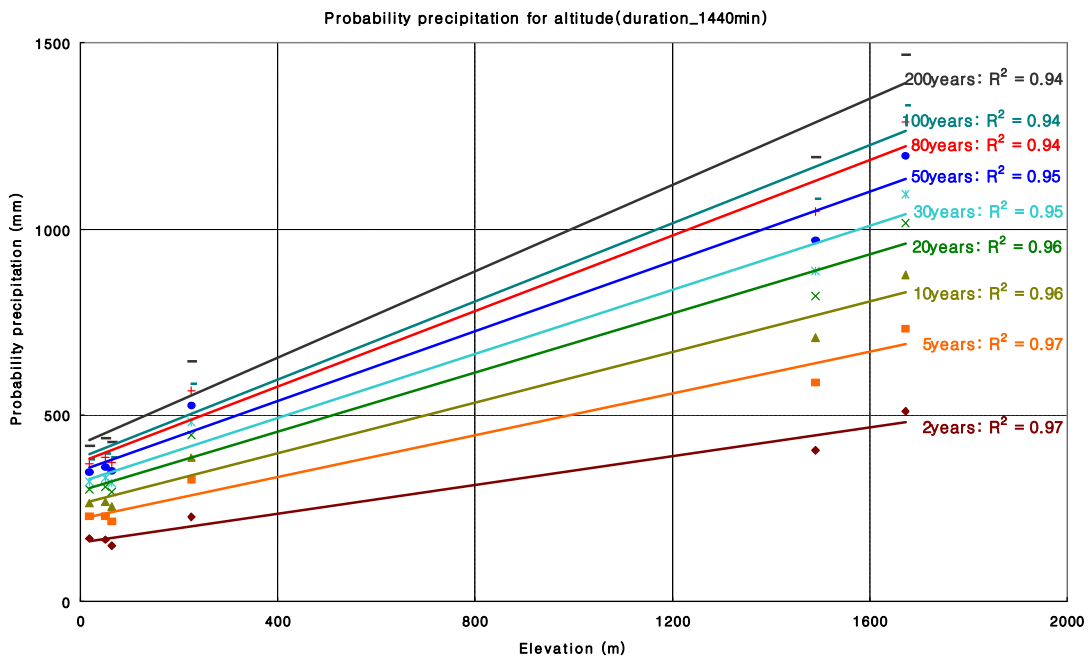


Fig. IV-5. Return period-specific elevation-probable rainfall (Southern_duration time 1440 min.)

남부지역의 지속시간 1440분에 대한 재현기간별 1차회귀식은 Table IV-8과 같다. 재현기간 2년일 때 1차회귀식은 $P=0.1908h+159.02$, 기울기는 0.19로 가장 낮고, 200년일 때 1차회귀식은 $P=0.5792h+422.75$, 기울기는 0.58로 가장 높았으며 재현기간이 증가할수록 1차회귀식의 기울기는 높아지는 것으로 나타났다.

Table IV-8. Return period-specific elevation-probable rainfall 1st linear regression equation(Southern_duration time 1440min)

재현기간(년)	회귀식(1차)	결정계수 (R^2)
2	$P=0.1908h+159.02$	0.9674
5	$P=0.2802h+220.38$	0.9728
10	$P=0.3393h+260.38$	0.9645
20	$P=0.396h+298.73$	0.9635
30	$P=0.4286h+320.83$	0.9538
50	$P=0.4694h+348.43$	0.9511
80	$P=0.5067h+373.69$	0.9448
100	$P=0.5244h+385.65$	0.9415
200	$P=0.5792h+422.75$	0.9395

남부지역의 재현기간 100년에 지속시간별 고도-확률강우량 상관도는 Fig. IV-6과 같으며, R^2 은 0.82 ~0.97의 분포를 보였다. 지속시간 1080분에서 가장 높은 R^2 값(0.98)을 보이고 있으며, 지속시간 60분과 120분에서 가장 낮은 R^2 값(0.82)을 보이는 것으로 나타났다.

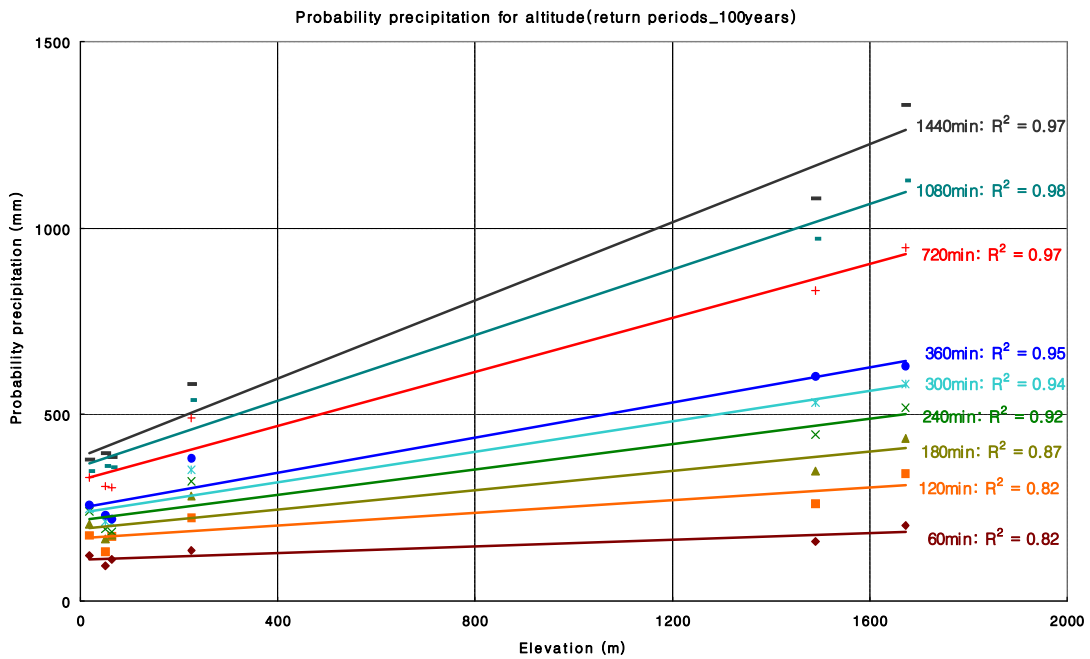
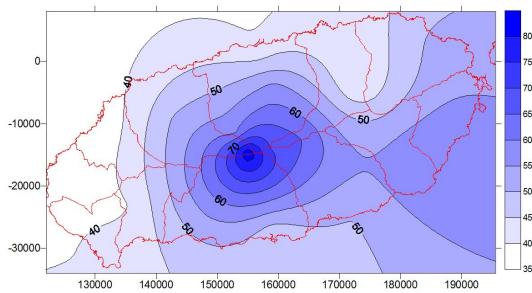


Fig. IV-6. Duration time-specific elevation-probable rainfall
(Southern_recurrence interval 100 years)

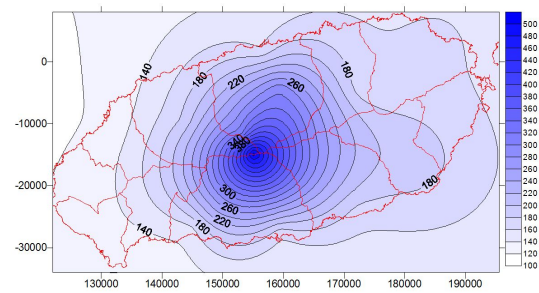
2. 제주도 확률강우량도 구축

AWS 관측지점별 확률강우량 산정 결과를 이용하여 제주도 남·북사면에서의 고도-확률강우량 상관관계를 검토한 결과 지속시간 60분과 1440분의 모든 재현기간에서 고도에 따른 확률강우량 증가경향이 나타났다. 또한 100년 빈도 확률강우량의 각 지속시간에서도 동일한 결과를 도출하였다.

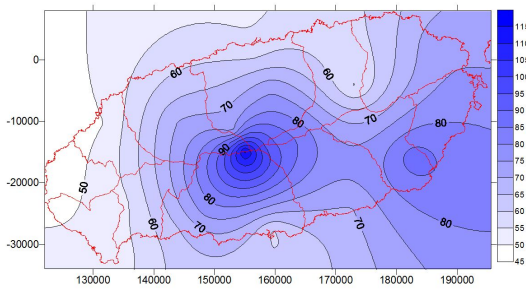
산정된 확률강우량을 이용하여 Surfer 7.0 프로그램의 Kriging 기법을 이용하여 제주도의 확률강우량도를 구축하였으며, 대표적인 확률강우량도는 Fig. IV-7 과 같다.



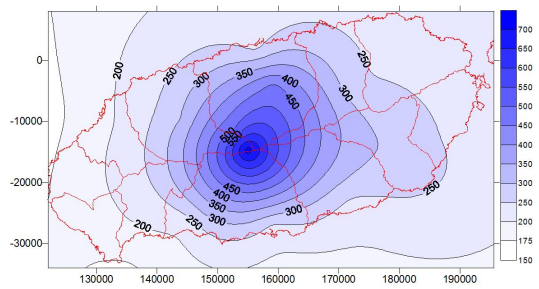
(a) 2년 빈도_60분



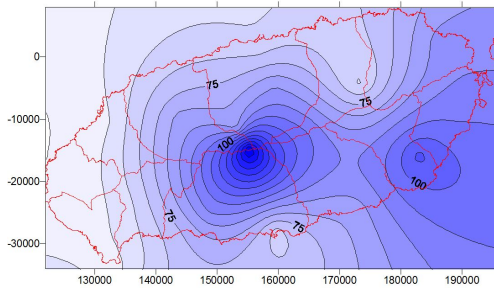
(b) 2년 빈도_1440분



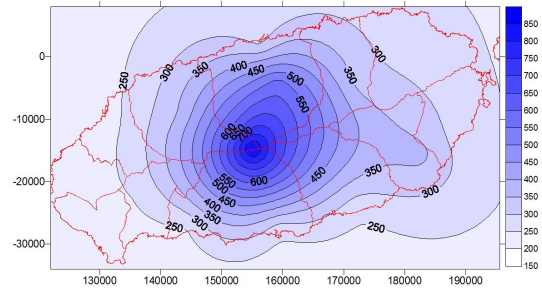
(c) 5년 빈도_60분



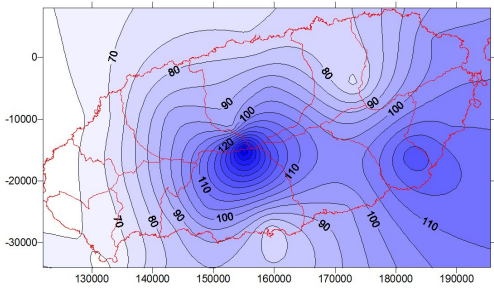
(d) 5년 빈도_1440분



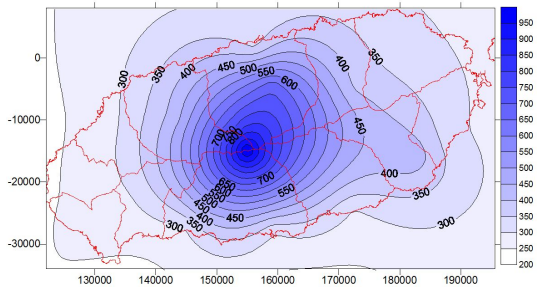
(e) 10년 빈도_60분



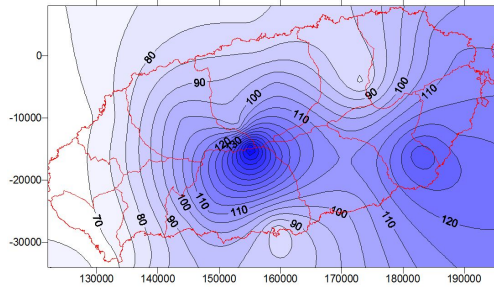
(f) 10년 빈도_1440분



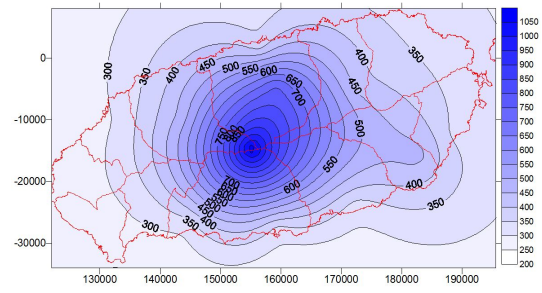
(g) 20년 빈도_60분



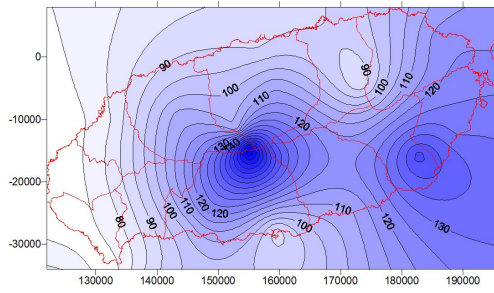
(h) 20년 빈도_1440분



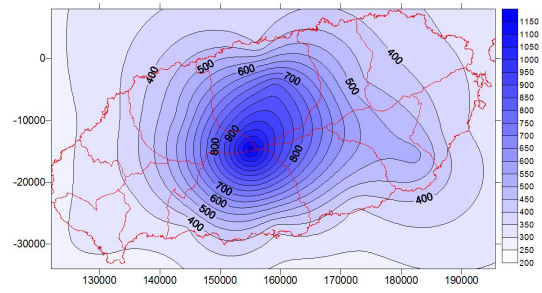
(i) 30년 빈도_60분



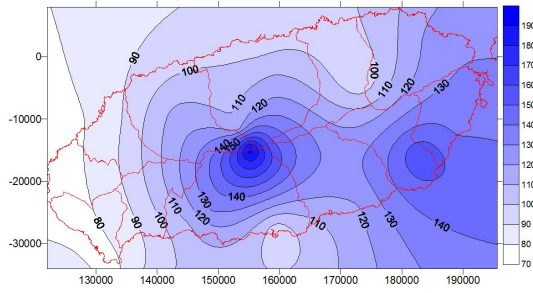
(j) 30년 빈도_1440분



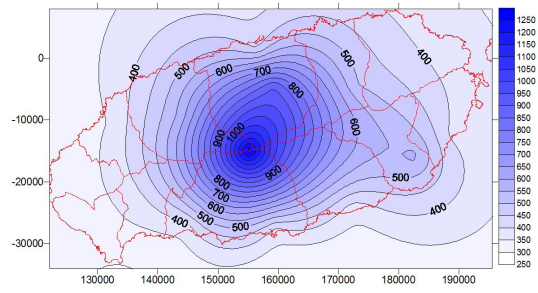
(k) 50년 빈도_60분



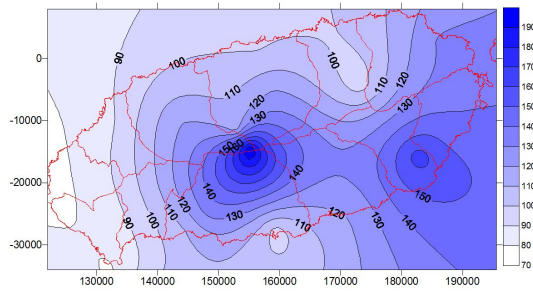
(l) 50년 빈도_1440분



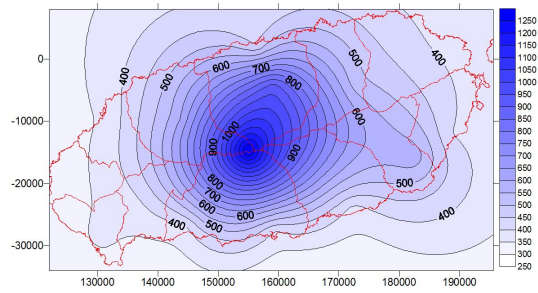
(m) 80년 빈도_60분



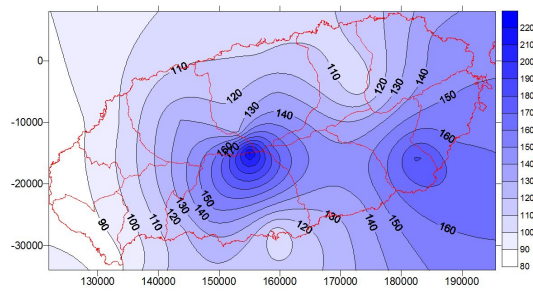
(n) 80년 빈도_1440분



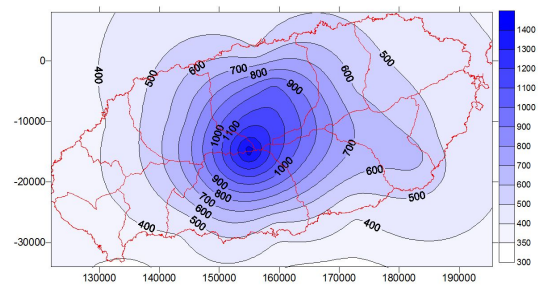
(o) 100년 빈도_60분



(p) 100년 빈도_1440분



(q) 200년 빈도_60분



(r) 200년 빈도_1440분

Fig. IV-7. Jejuo probable rainfall map(duration time 60 min., 1440 min.)

지속시간 60분의 확률강우량은 한라산 정상부를 중심으로 고도에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며, 또한 성산지역에서도 많은 확률강우량을 나타내고 있다. 지속시간 1440분의 확률강우량도 한라산 정상부에서 가장 많은 강우량을 보이고 있으며, 대체적으로 남·동부지역에서 많은 강우량을 나타내고 있다. 이러한 결과는 제주도의 연강우량이 한라산 정상부와 남·동부지역에서 강우량이 높게 나타내는 특징(제주도, 2013)과 일치하며, 대표적인 확률강우량도 외에 전체

재현기간별 지속시간별 확률강우량도는 부록에 수록하였다.

3. 기존 확률강우량과 비교·분석

3.1 기존 하천정비기본계획 확률강우량_한천유역

본 연구에서 구축된 확률강우량도를 이용한 유역평균 확률강우량과 기존 하천정비기본계획에서 산정된 확률강우량을 비교·검토하기 위하여 제주도 한천유역에 적용하였다. 한천유역의 하천정비기본계획은 1997년과 2001년에 각각 수립되었으며, 2005년(변경)과 2009년(설계빈도 상향 변경)에 변경 수립되었다. 1997년에 수립된 기본계획에서는 제주기상대 자료를 이용하여 확률강우량을 산정하고 유역에 적용하였으며, 2001년에는 제주기상대 자료로 확률강우량을 산정하고 고도에 따른 보정(고도증가계수 1.44-1.75)을 수행하여 유역에 적용하였다. 2005년과 2009년에 수립된 기본계획에서는 제주기상대 자료로 확률강우량을 산정하고 면적감소계수(ARF, Areal Reduction Factor)를 적용하여 소유역별 고도에 따른 분포를 보정하였다. 한천유역 전체를 대상으로 확률강우량을 산정하고 고도에 따른 보정을 수행한 2001년 기본계획의 확률강우량을 대상으로 본 연구결과와 비교 검토하였으며, 2001년 기본계획의 확률강우량은 Table IV-9와 같다.

Table IV-9. 2001 Hancheon Plan probable rainfall

재현기간 (년)	강우지속시간별 확률강우량(mm)					
	60분	120분	180분	360분	720분	1440분
30	97.6	153.6	188.8	270.7	353.8	478.7
50	106.8	167.2	206.2	294.5	384.3	523.3
80	115.4	179.6	222.6	316.2	412.4	564.0
100	119.6	185.5	230.4	326.6	425.7	583.3

2001년 계획에서 재현기간은 30년, 50년, 80년, 100년, 150년 빈도, 지속시간은 10분, 60분, 120분, 180분, 360분, 720분, 1440분을 각각 적용하였으며, 재현기간 30년의 확률강우량이 60분 97.6mm, 1440분 583.3mm로 산정되었다.

3.2 확률강우량 비교·분석_한천유역

본 연구결과와 비교·분석하기 위하여 2001년 계획의 재현기간은 30년, 50년, 80년, 100년, 지속시간은 60분, 120분, 180분, 360분, 720분, 1440분으로 적용하였으며, 적용결과는 Table IV-10과 같다.

Table IV-10. Probable rainfall comparison · analysis_Hancheon

재현 기간 (년)	강우지속시간별 확률강우량(mm)								
	60분			120분			180분		
	2001	본연구	증감	2001	본연구	증감	2001	본연구	증감
30	97.6	106.7	▲9.3%	153.6	176.8	▲15.1%	188.8	233.2	▲23.5%
50	106.8	114.8	▲7.5%	167.2	191.6	▲14.6%	206.2	249.1	▲20.8%
80	115.4	122.3	▲6.0%	179.6	205.4	▲14.4%	222.6	271.5	▲22.0%
100	119.6	125.9	▲5.3%	185.5	211.2	▲13.9%	230.4	280.3	▲21.6%

재현 기간 (년)	강우지속시간별 확률강우량(mm)								
	360분			720분			1440분		
	2001	본연구	증감	2001	본연구	증감	2001	본연구	증감
30	270.7	394.4	▲45.7%	353.8	598.1	▲69.0%	478.7	757.3	▲58.2%
50	294.5	431.5	▲46.5%	384.3	666.9	▲73.5%	523.3	834.1	▲59.4%
80	316.2	465.7	▲47.3%	412.4	711.6	▲72.6%	564.0	904.6	▲60.4%
100	326.6	481.8	▲47.5%	425.7	736.7	▲73.1%	583.3	937.9	▲60.8%

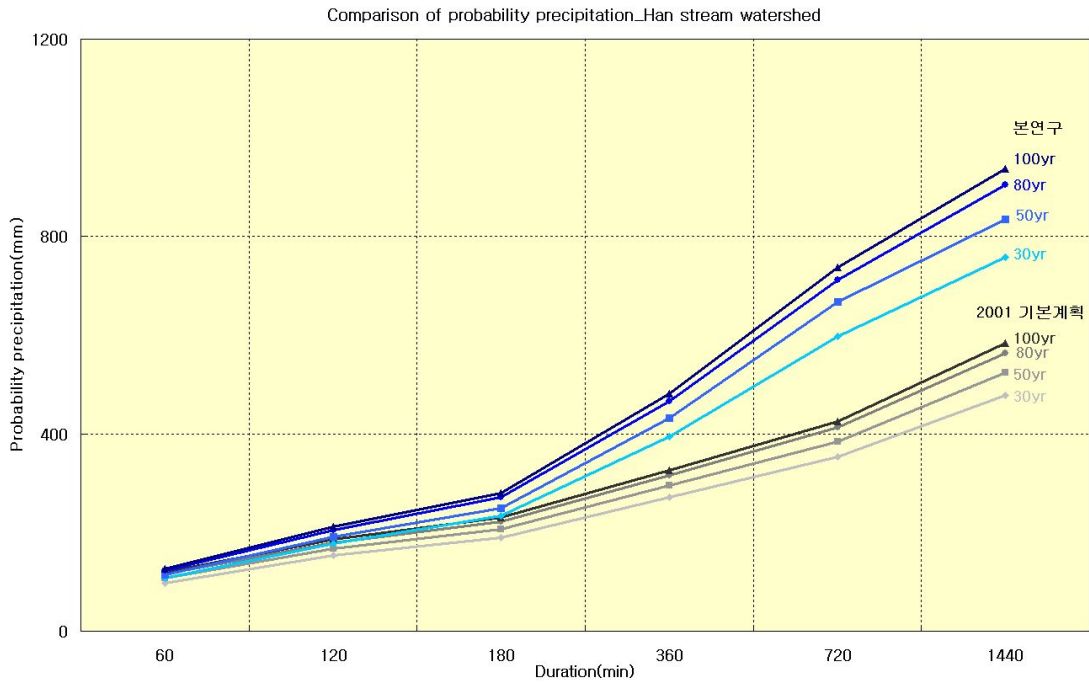


Fig. IV-8. Duration time-specific probable rainfall comparison_Hancheon

2001년 한천 기본계획의 확률강우량과 비교·분석한 결과 지속시간 60분 5.3% ~ 9.3%, 120분 13.9% ~ 15.1%, 180분 20.8% ~ 23.5%, 360분 45.7% ~ 47.5%, 720분 69.0% ~ 73.1%, 1440분 58.2% ~ 60.8%로 각각 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과가 2001년의 확률강우량보다 증가한 이유로 2001년 기본계획에서는 2000년 이전 관측 자료를 사용하였으며, 본 연구에서는 2012년까지의 관측 자료를 사용했기 때문이다. 2000년대 이후 제주도의 연강우량은 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 최근 들어 일 강우량 극값이 200mm 이상인 해가 빈번하게 발생하였다(제주도, 2013). 최근 관측 자료(2012년)를 사용한 본 연구의 확률강우량은 2000년대 이후 제주도의 강우변동 특성을 반영하고 있다.

또한 2001년 기본계획에서 고도증가계수는 한국농어촌공사에서 관리하는 7개 우량관측소(제동목장 390m, 월평 460m, 어승생 600m, 금악 340m, 광평 500m, 성관악 780m, 1,100고지 휴계소 1,100m)의 강우자료와 제주관측소의 강우량 자료를 이용하여 산정하였다. 제주 북부지역은 제주, 제동목장, 월평, 어승생 관측소를 이용하여 고도증가계수를 산정하였으나 고도범위(제주 20m ~ 어승생 600m)

가 작으므로 고도 증가에 따른 강우량 증가 경향을 반영할 수 없었다. 본 연구에서는 20m ~ 1,673m까지의 고도범위에 따른 강우량 자료를 확보하여 적용하였기 때문에 2001년 기본계획보다 확률강우량이 증가한 것으로 판단된다.

향후 장기간 동안의 관측 자료 확보하여 확률강우량도를 구축하고 하천유역별 고도-강우량 회귀식 개발 및 동·서부지역 고도-강우량 검증 등의 연구가 수행된다면 보다 정밀한 확률강우량을 산정할 수 있을 것이다.

V. 결 론

제주도내 4개 기상대를 제외하면 30년 이상의 관측 자료가 존재하지 않기 때문에 하천정비기본계획에서는 고도 100m 이하의 4개 기상대를 대상으로 확률강우량을 산정하여 설계홍수량을 산정하고 있어 고도에 따른 강우량의 편차를 고려하지 못하고 있다. 본 연구에서 4개 기상대 및 제주 전 지역의 Automatic Weather Station 관측 자료를 사용하여 각 지점별 확률강우량 산정, 남·북부지역의 고도-확률강우량 상관관계 검토, 제주도 전 지역의 확률강우량도 구축 및 적용한 결과는 다음과 같다.

1) 확률강우량을 산정하기 위하여 4개 기상대 및 AWS 관측 자료를 관측시작년도부터 2012년까지 구축하였으며, 국토부에서 제시하는 고정시간-임의시간 환산 식을 사용하여 임의시간에 대한 각 지점의 지속시간별 연최대강우량 자료를 구축하였다.

2) 각 관측소별로 9개 지속시간(60분, 120분, 180분, 240분, 300분, 360분, 720분, 1080분, 1440분)에 대하여 매개변수 적합성 검토 및 적합도 검정을 수행한 결과 Gumbel 분포형을 최적 분포형으로 나타났으며, Gumbel 분포를 이용하여 각 지점별 확률강우량을 산정하였다.

3) 제주도의 하천은 한라산을 중심으로 남·북사면으로 발달해 있으므로 남·북부지역의 고도-확률강우량 상관관계를 검토한 결과 북부지역의 지속시간 60분의 R^2 은 0.78 ~ 0.87, 지속시간 1440분의 R^2 은 0.87 ~ 0.91, 재현기간 100년에 대한 9개 지속시간별 고도-확률강우량의 R^2 은 0.78 ~ 0.92로 나타났다. 남부지역의 지속시간 60분의 R^2 은 0.81 ~ 0.93, 지속시간 1440분의 R^2 은 0.94 ~ 0.97, 재현기간 100년에 대한 지속시간별 고도-확률강우량의 R^2 은 0.82 ~ 0.97로 분석되었다.

4) 각 지점별 확률강우량을 이용하여 제주도 전 지역의 확률강우량도를 구축한 결과 한라산 정상부와 남·동부지역에서 강우량이 높게 나타나는 제주도의 특징과 일치하는 것으로 나타났다. 확률강우량도를 한천유역의 적용하여 2001년 하천정비기본계획과 비교·분석한 결과 5.3% ~ 73.5%의 확률강우량이 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 본 연구 결과가 2000년대 이후 제주도 강우변동 특성을 반영하고 고지대의 강우 자료를 확보하여 적용하였기 때문에 확률강우량이 증가한 것으로 판단된다.

제주도의 고도를 고려한 확률강우량 산정 및 확률강우량도 구축 결과는 전반적으로 우수한 결과를 보이고 있다. 이와 같은 연구결과는 향후 기후변화에 대비하여 홍수재해로부터 안전한 제주도를 구축하는데 가장 기초적인 연구이며, 제주도의 유역종합치수계획, 하천정비기본계획, 사전재해영향성검토 등에서 광범위하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 보다 정밀한 확률강우량을 산정하기 위해서는 장기간 동안의 관측 자료를 확보하여 확률강우량도를 지속적으로 구축하고, 이를 활용하여 하천유역 및 소유역별 고도-강우량 회귀식 개발 및 동·서부지역 고도-강우량 검증 등의 다양한 연구가 필요하다.

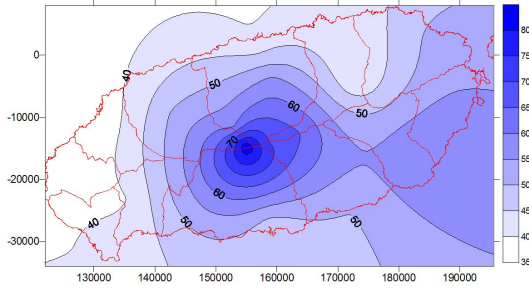
참고문헌

- 고재욱, 양성기, 양원석, 정우열, 박철수, 2013, 산지형 하천의 토양침식 및 토사 유출량 산정, 한국환경과학회지 22(5), pp. 599-608.
- 국가태풍센터(<http://typ.kma.go.kr>)
- 국토해양부, 2011, 확률강우량도 개선 및 보완 연구
- 건설교통부, 2000, 한국확률강우량도 작성
- 국토해양부, 2012, 설계홍수량 산정요령
- 건설교통부, 2001, 지방2급하천정비기본계획보고서(산지천, 화북천, 병문천, 한천, 방천, 부록천, 독사천)
- 기상청, 2011, 1981 ~ 2010 한국기후표
- 박원배, 문덕철, 2010, 하천유출수 활용방안 마련을 위한 수문 및 수질특성 기초연구-한천·화북천·효례천을 중심으로-, 제주발전연구원 정책연구집, 2010-3.
- 박원배, 문덕철, 2009, 제주지역 하천유출수 활용을 위한 수문 및 수질특성 기초연구, 제주발전연구원 정책연구집, 2009-11.
- 박원배, 문덕철, 2008, 하천유출수 활용방안 마련을 위한 수문 및 수질특성 기초연구, 제주발전연구원 정책연구집, 2008-11.
- 양원석, 양성기, 2013, 도서지역 건천의 홍수유출 시 흐름 해석, 한국환경과학회지 22(5), pp. 571-580.
- 윤태훈, 1999, 응용수문학, 청문각, pp. 152-381.
- 윤용남, 2007, 수문학, 청문각
- 윤성준, 2008, 중소하천 유역에서의 확률홍수량 분석, 한밭대학교 대학원 공학석사학위 논문, pp. 6-12.
- 유철상, 전경수, 김기욱, 2004, 한강유역 강수의 산지효과추정- I. 회귀분석-, 대한토목학회 논문집, 24권, 1B, pp. 33-39.
- 엄명진, 조원철, 임해욱, 2007, 지속시간 및 표고에 따른 강우량 보정에 관한 연구, 한국수자원학회논문집, 40(7), pp. 511-521.
- 윤혜선, 엄명진, 조원철, 허준행, 2009, 지역빈도해석 및 다중회귀분석을 이용

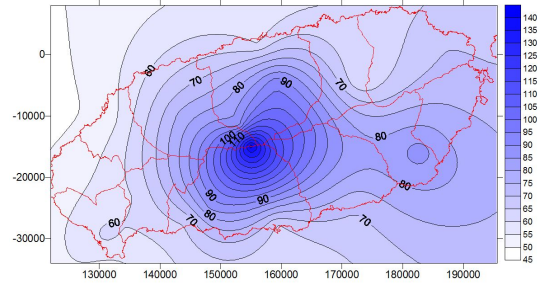
- 한 산악형 강수해석, 한국수자원학회논문집, 42(6), pp. 465-480.
- 이재수, 2007, 수문학
 - 정우열, 양성기, 이준호, 2013, 제주도 도심하천 유역의 유출특성 해석, 한국 환경과학회지, 22(5), pp. 555-562.
 - 정중호, 윤용남, 2008, 수자원설계실무
 - 제주도, 2007, 제주 풍수해백서
 - 제주도, 2013, 제주도 수자원관리종합계획
 - 한국지질자원연구원, 2011, 제주위터 지속이용 가능량 평가 및 기능성 지하 수 발굴 보고서
 - 한국수자원학회, 2009, 하천설계기준·해설
 - 제주도, 2009, 한천 외 3개 하천기본계획(변경)(한천, 병문천, 독사천, 산지천)
 - Duckstein, L., Fogel, M. M., and Thames, J.L., 1973, Elevation effects on rainfall: A stochastic model, Journal of Hydrology, Vol. 18, pp. 21-35.
 - Karneili, A., and Osborn, H., 1988, Factors affecting seasonal and annual precipitation in Arizona, Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest, The University of Arizona, Vol. 18, pp 7-18.
 - Hanson, C.L., and Johnson, G.L., 1993, Spatial and temporal precipitation characteristics in Southwest Idaho, Management of Irrigation and Drainage System: Integrated Perspectives, ASCE, pp. 394-401.

부 록

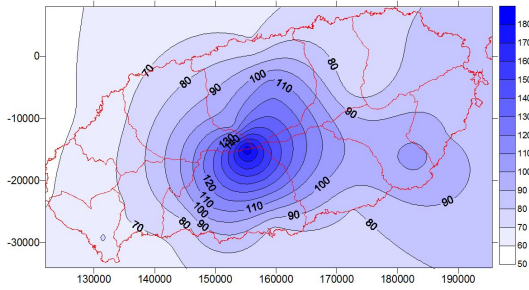
1. 재현기간 2년 확률강우량도



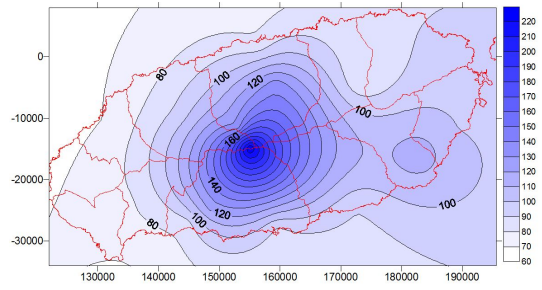
지속시간 60분



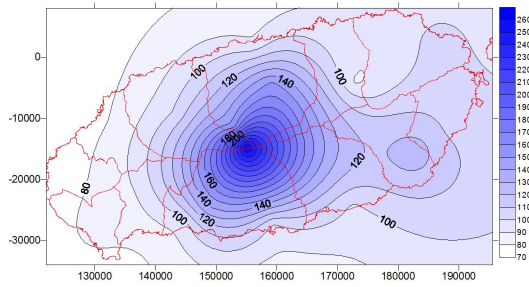
지속시간 120분



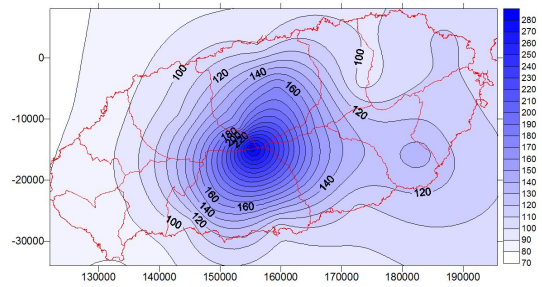
지속시간 180분



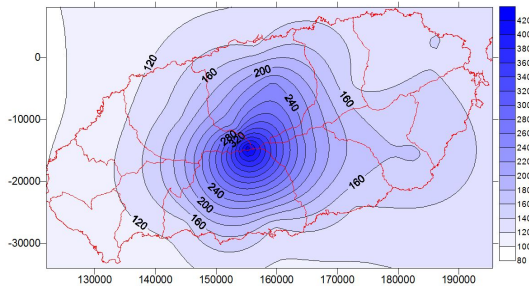
지속시간 240분



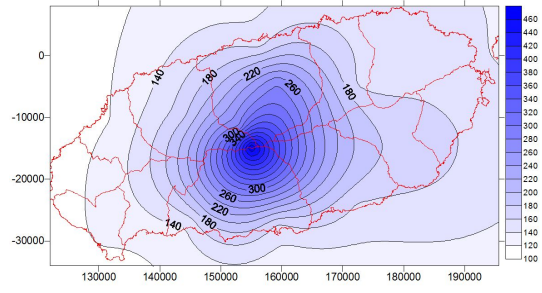
지속시간 300분



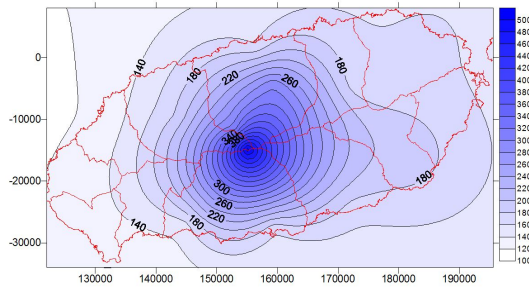
지속시간 360분



지속시간 720분

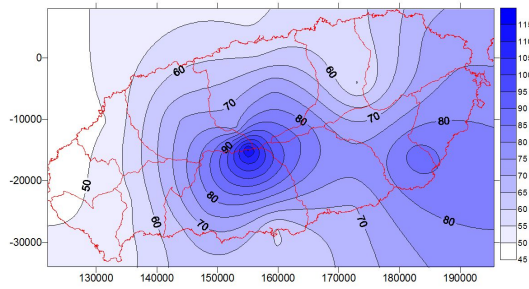


지속시간 1080분

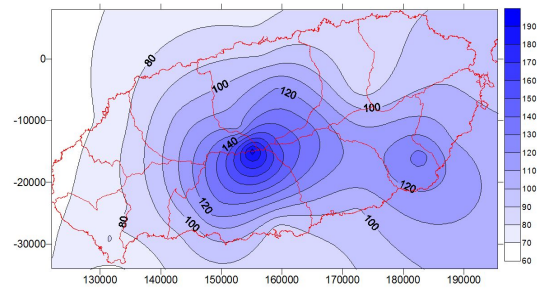


지속시간 1440분

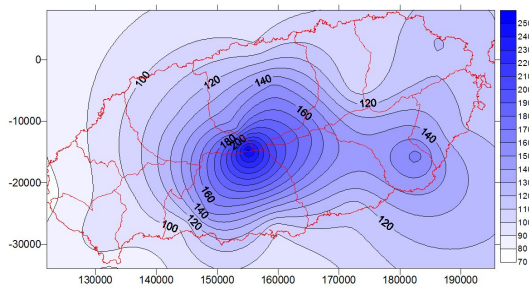
2. 재현기간 5년 확률강우량도



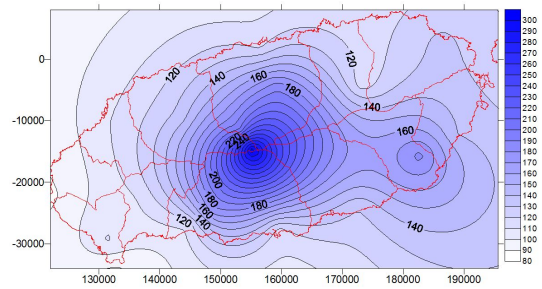
지속시간 60분



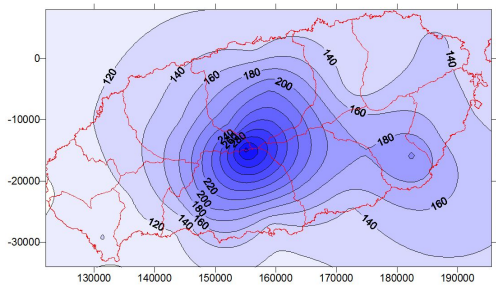
지속시간 120분



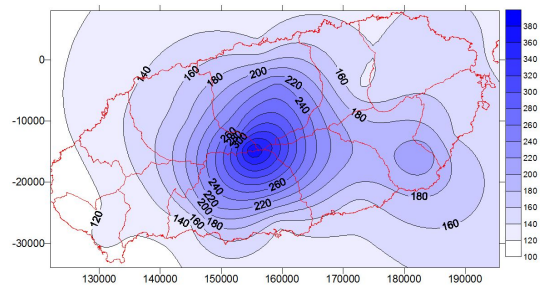
지속시간 180분



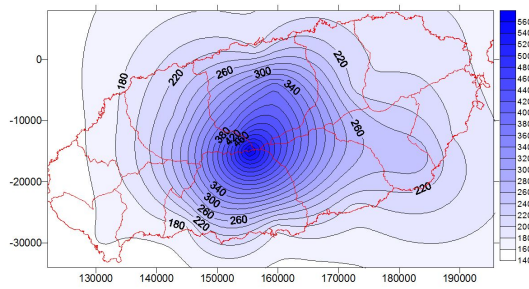
지속시간 240분



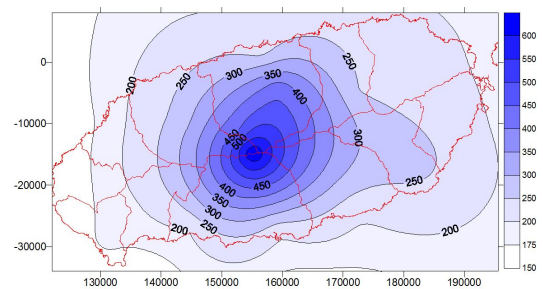
지속시간 300분



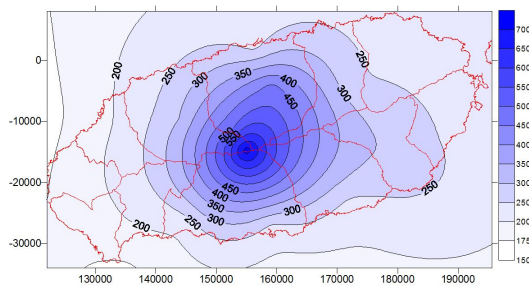
지속시간 360분



지속시간 720분

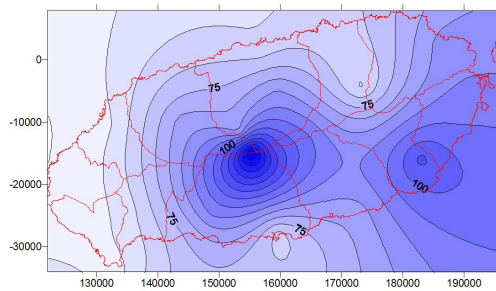


지속시간 1080분

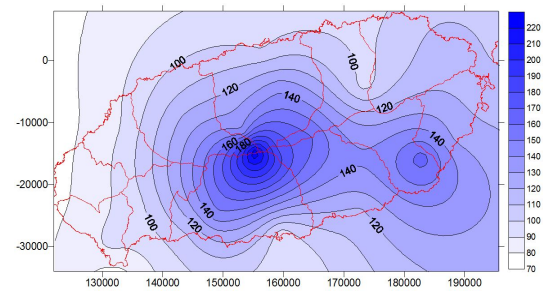


지속시간 1440분

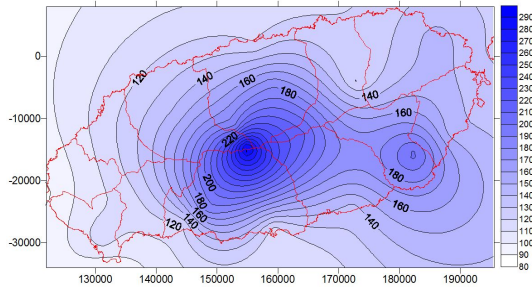
3. 재현기간 10년 확률강우량도



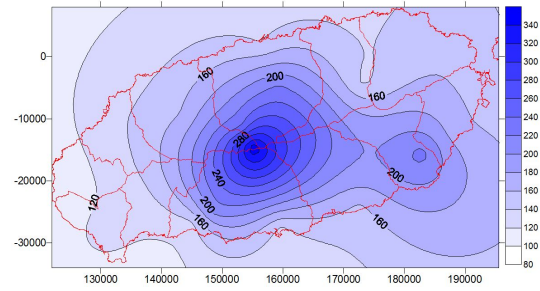
지속시간 60분



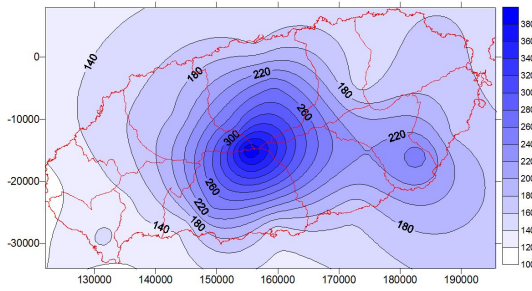
지속시간 120분



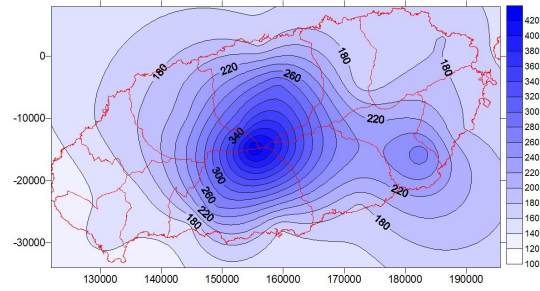
지속시간 180분



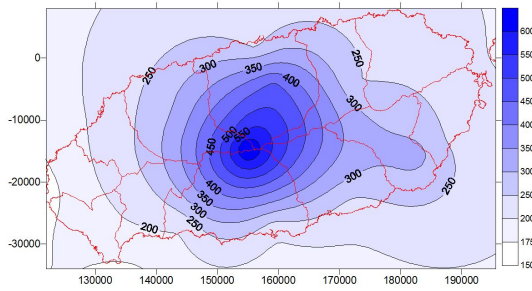
지속시간 240분



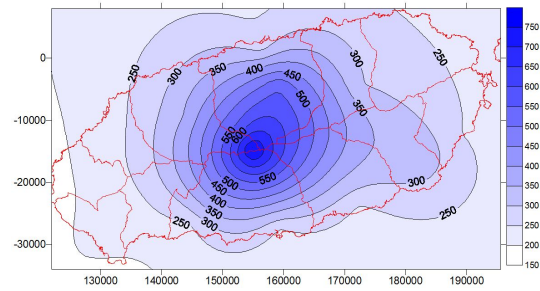
지속시간 300분



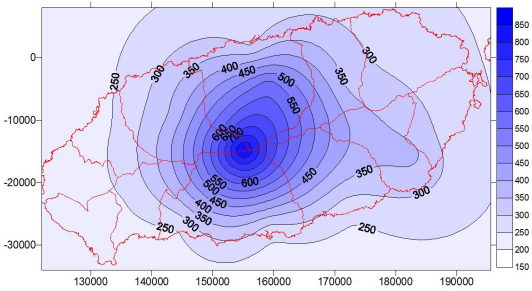
지속시간 360분



지속시간 720분

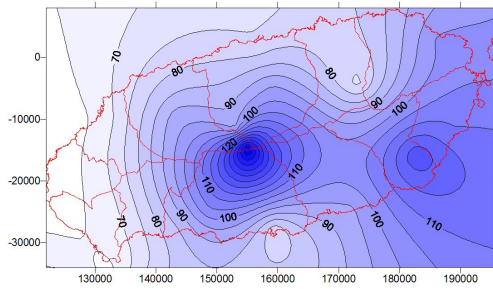


지속시간 1080분

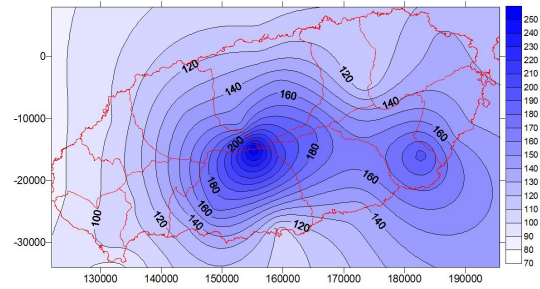


지속시간 1440분

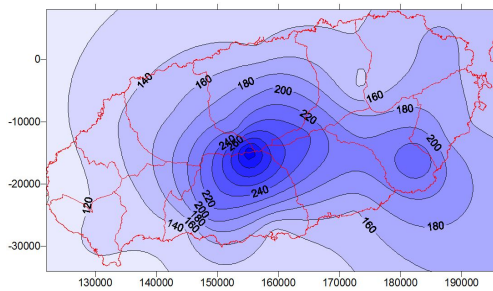
4. 재현기간 20년 확률강우량도



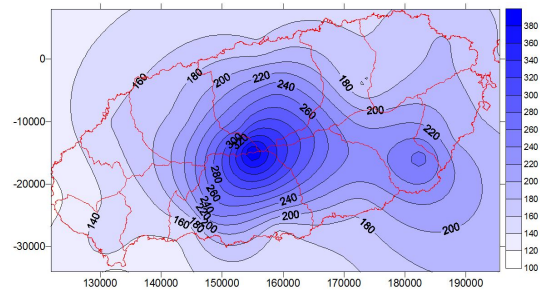
지속시간 60분



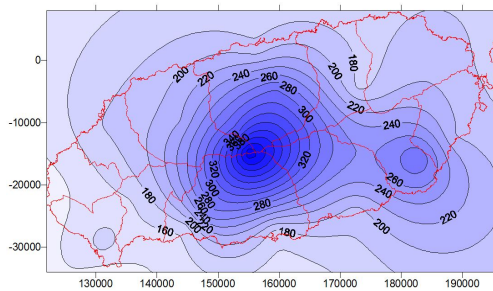
지속시간 120분



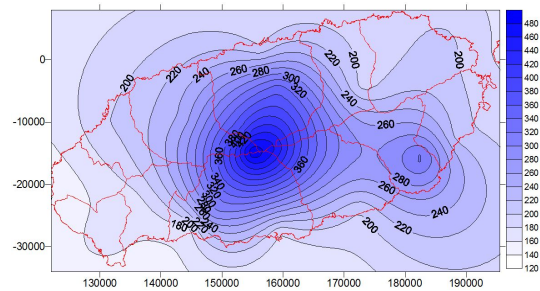
지속시간 180분



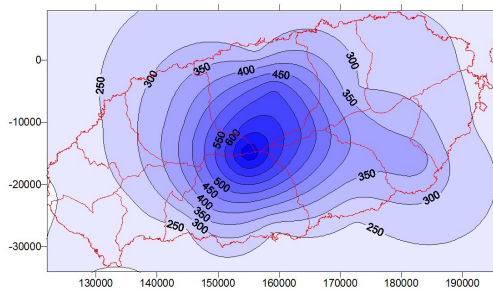
지속시간 240분



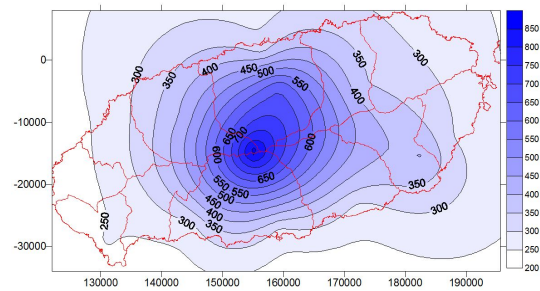
지속시간 300분



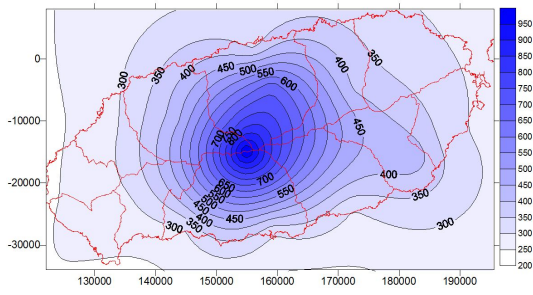
지속시간 360분



지속시간 720분

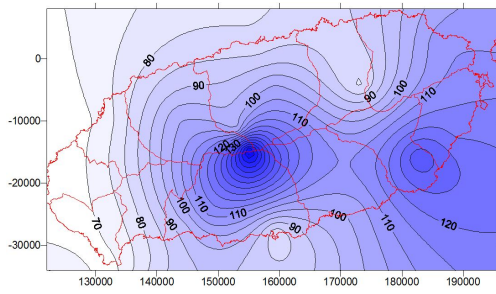


지속시간 1080분

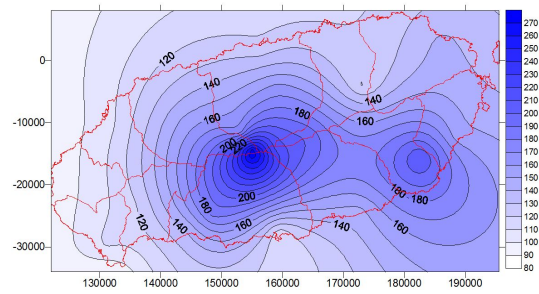


지속시간 1440분

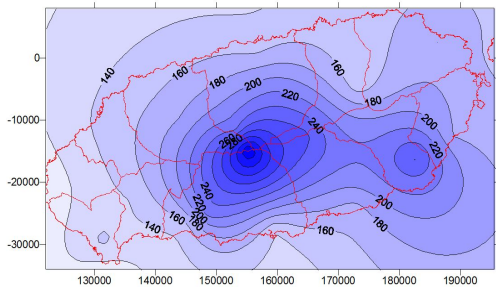
5. 재현기간 30년 확률강우량도



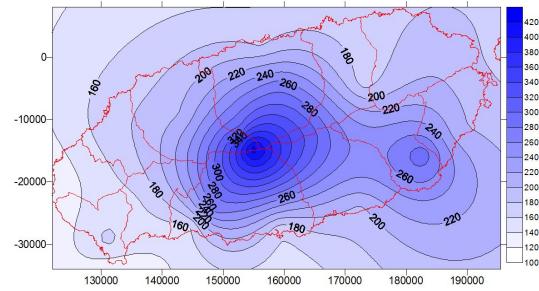
지속시간 60분



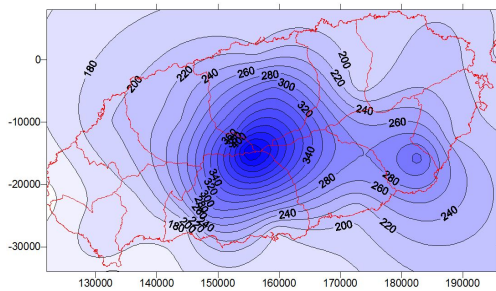
지속시간 120분



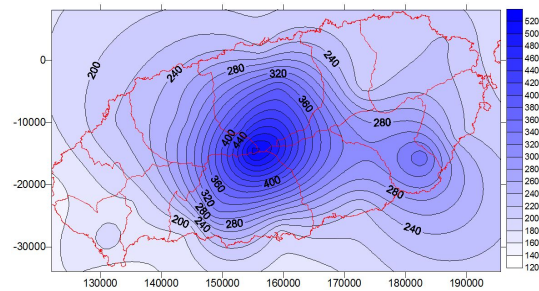
지속시간 180분



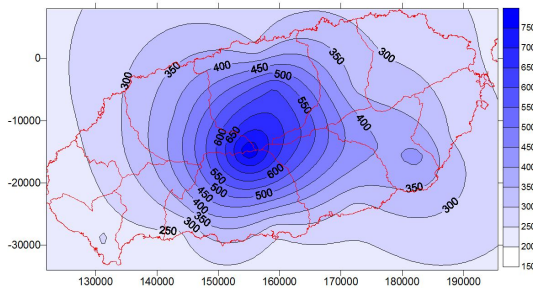
지속시간 240분



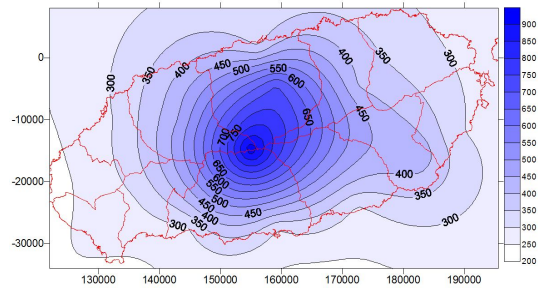
지속시간 300분



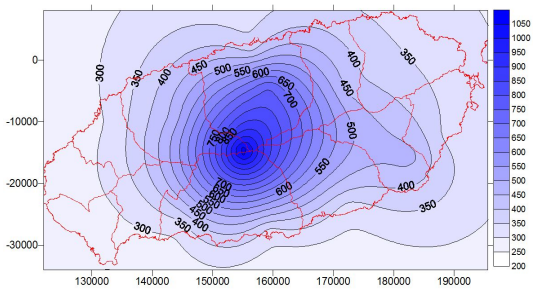
지속시간 360분



지속시간 720분

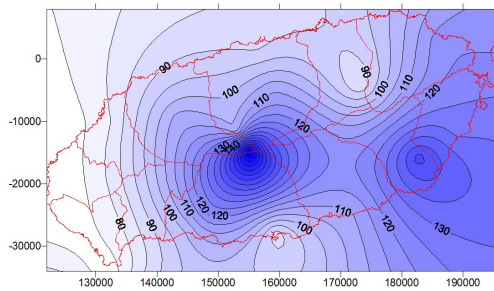


지속시간 1080분

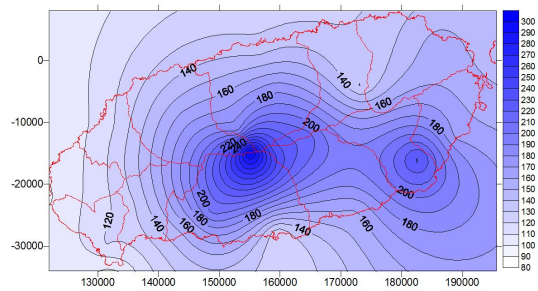


지속시간 1440분

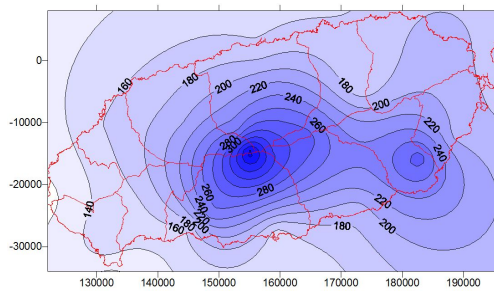
6. 재현기간 50년 확률강우량도



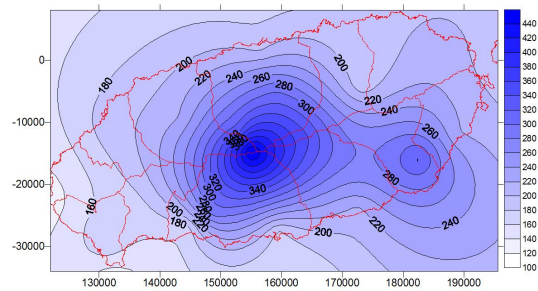
지속시간 60분



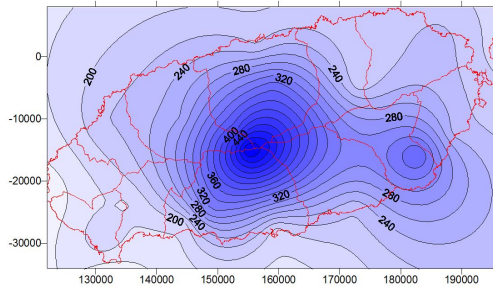
지속시간 120분



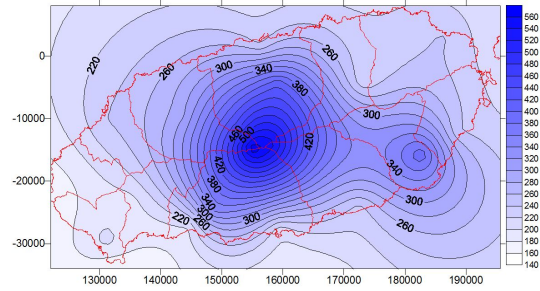
지속시간 180분



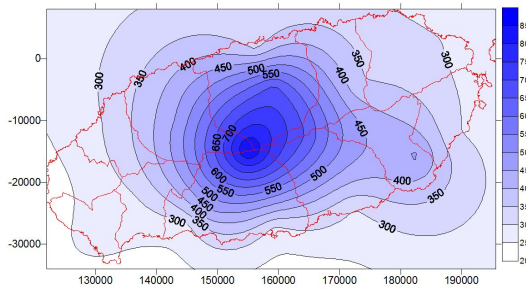
지속시간 240분



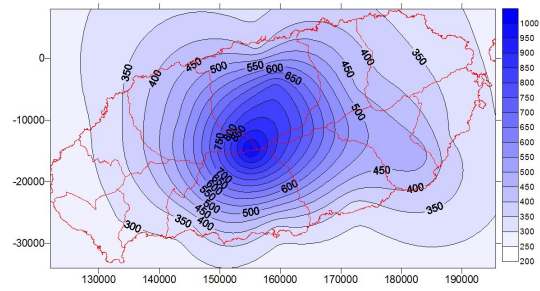
지속시간 300분



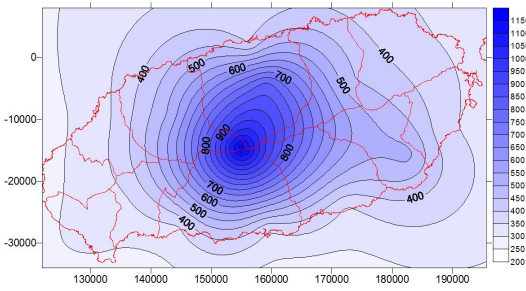
지속시간 360분



지속시간 720분

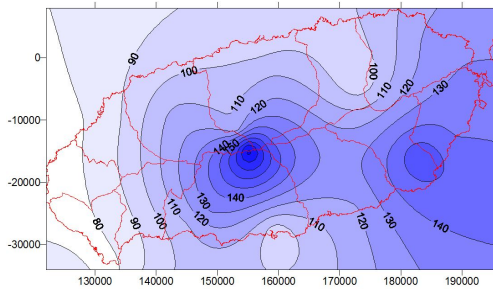


지속시간 1080분

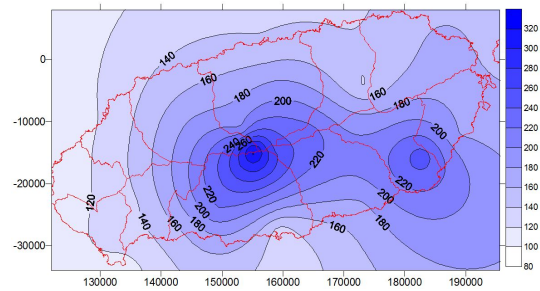


지속시간 1440분

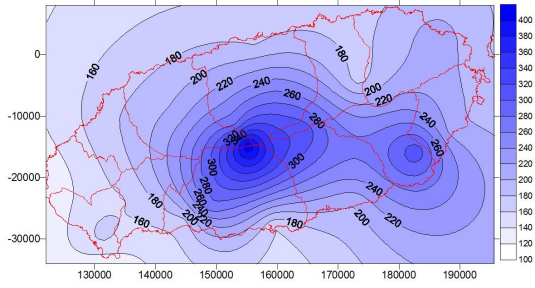
7. 재현기간 80년 확률강우량도



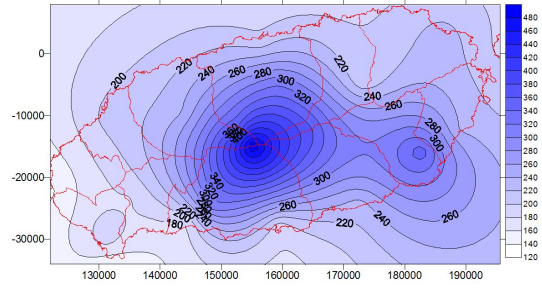
지속시간 60분



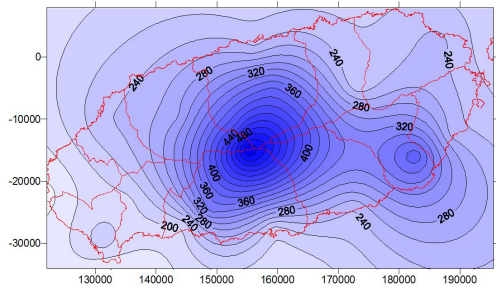
지속시간 120분



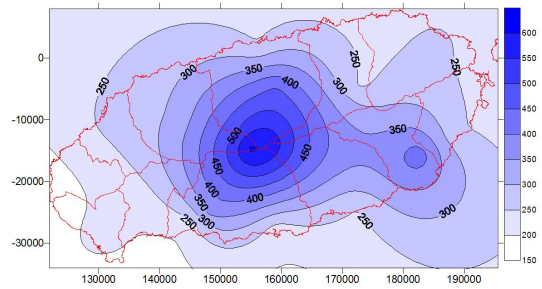
지속시간 180분



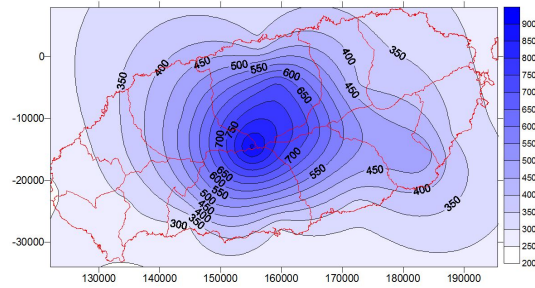
지속시간 240분



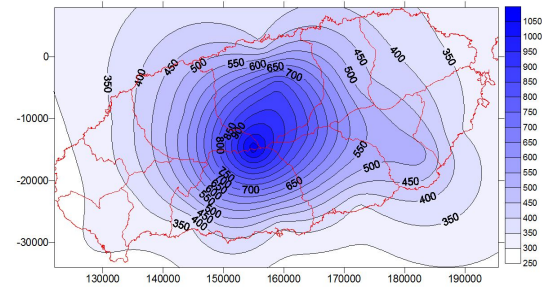
지속시간 300분



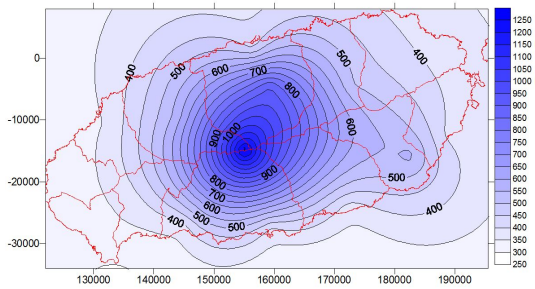
지속시간 360분



지속시간 720분

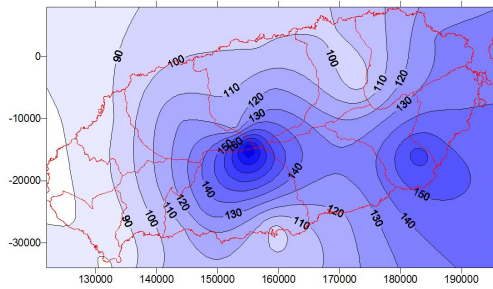


지속시간 1080분

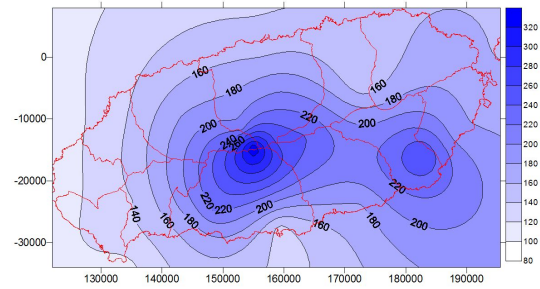


지속시간 1440분

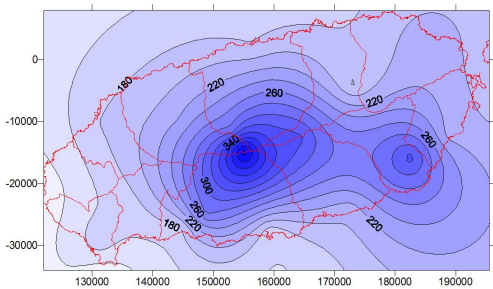
8. 재현기간 100년 확률강우량도



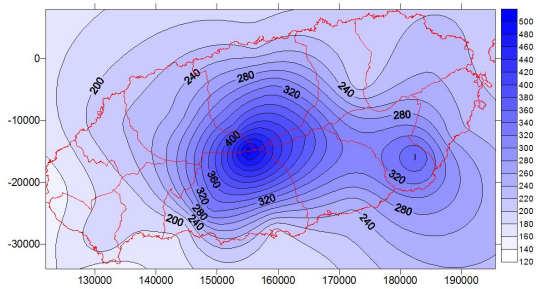
지속시간 60분



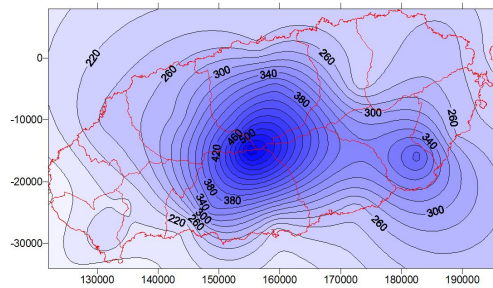
지속시간 120분



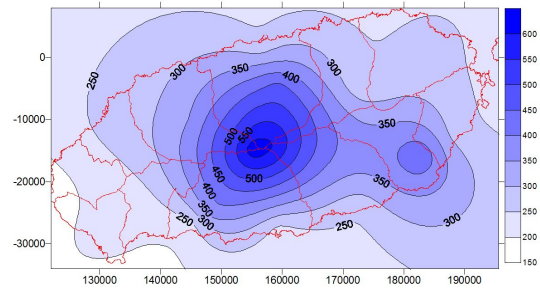
지속시간 180분



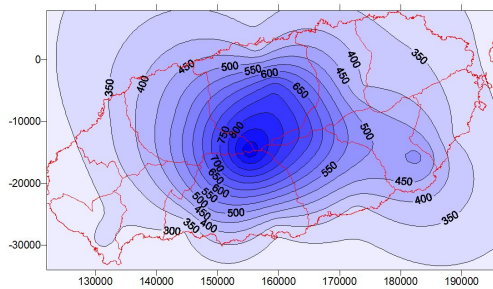
지속시간 240분



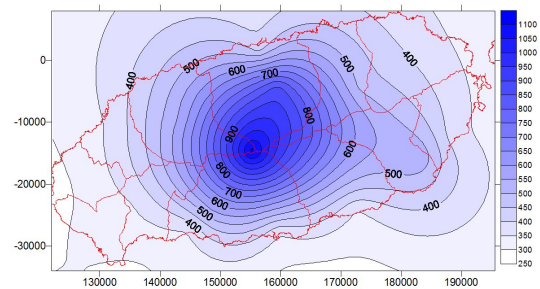
지속시간 300분



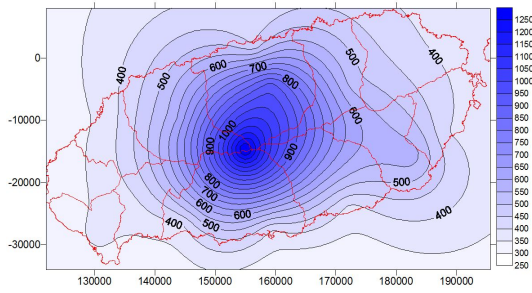
지속시간 360분



지속시간 720분

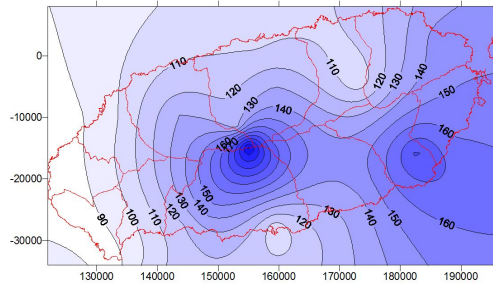


지속시간 1080분

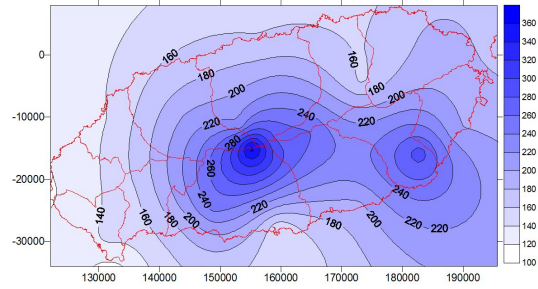


지속시간 1440분

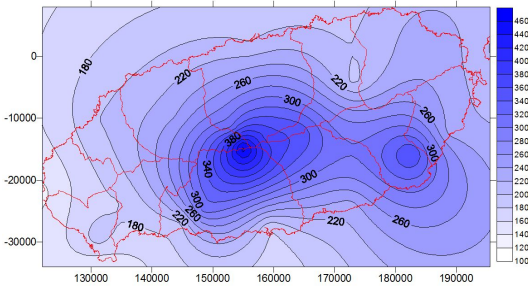
9. 재현기간 200년 확률강우량도



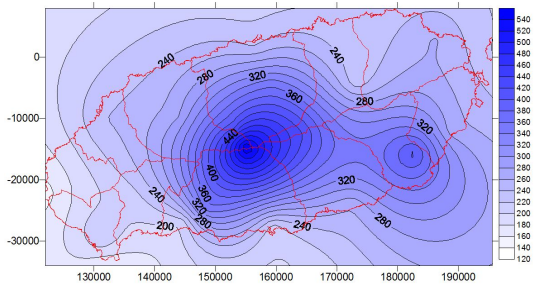
지속시간 60분



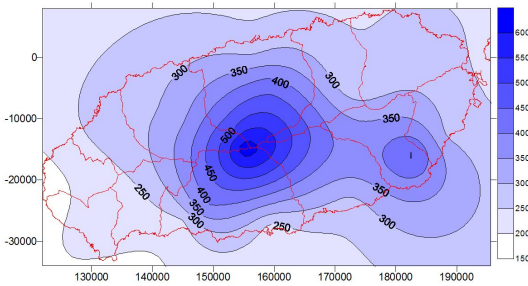
지속시간 120분



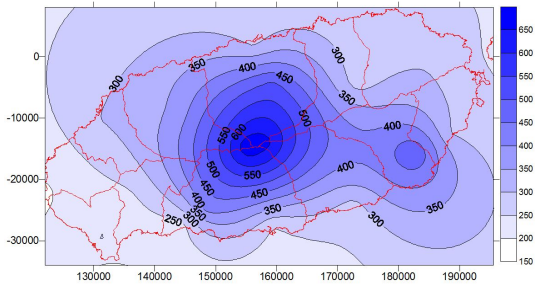
지속시간 180분



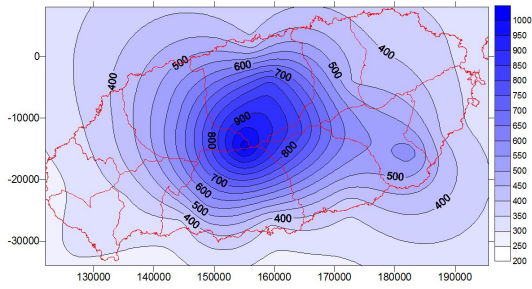
지속시간 240분



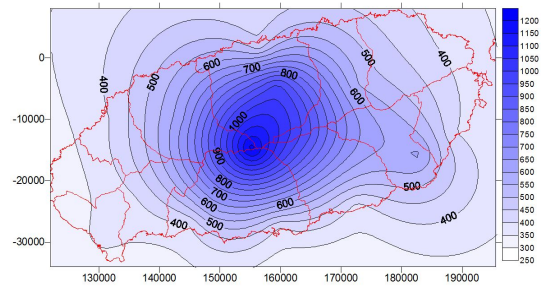
지속시간 300분



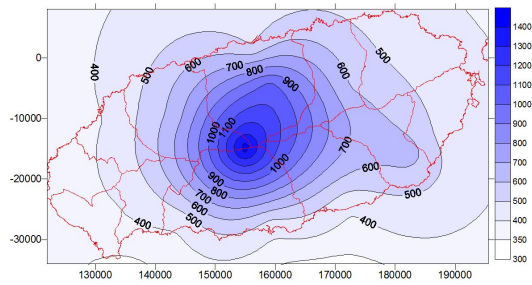
지속시간 360분



지속시간 720분



지속시간 1080분



지속시간 1440분

감사의 글

직장생활이 바쁘다는 핑계로 대학원 다섯 학기를 수료한지 5년만에 석사 학위를 취득하게 되어 눈물이 날 정도로 감개가 무량합니다.

대학원 재학기간동안 부족한 저에게 학문적 안목을 갖도록 세심하게 지도해주시고, 본 논문의 주제선정에서부터 심사까지의 모든 과정에서 자상한 가르침과 격려를 주신 양성기 지도교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

그리고 학문연구와 후학을 위한 지도에 바쁘신 가운데도 저의 논문심사를 맡아 세심한 충고와 지적을 하여주신 김남형 교수님, 김상진 교수님께도 고마운 말씀을 드립니다. 지난 대학원 재학기간동안 토목환경공학분야에 대하여 강의하여 주신 수자원분야 양성기 교수님, 해안 및 항만공학 김남형 교수님, 측량 및 GIS 이병걸 교수님, 토목구조 김상진 교수님, 철근콘크리트공학 박상렬 교수님께도 다시 한번 고마운 말씀을 드립니다.

또한 본 논문이 완성되기까지 많은 시간과 노력을 함께 해준 수리학 연구실 연구원 특히 정우열 박사님, 준호님께도 깊은 감사를 드리며 대학원 재학기간을 같이한 여러 선,후배님들께도 고마운 마음을 전하며 바쁜 업무에도 불구하고 뒤늦은 석사학위 공부를 계속할 수 있게 배려해주신 홍성익 전문위원님을 비롯한 제주특별자치도의회 환경도시전문위원실의 동료직원들에게도 감사를 드립니다.

끝으로 항상 저를 걱정해주시고 물심양면으로 도움을 주신 부모님과 장인, 장모님께 깊은 감사를 드리며 항상 곁에서 용기를 주었던 아내, 사랑하는 두 아들 진호, 진영이와 저를 지켜봐 주시고 응원해주셨던 많은 분들과 이 기쁨을 나누고자 합니다.

2013 12월
양 세 창 배상